

fundación  
**MAPFRE**



# **EVALUACION del IMPACTO AMBIENTAL**

**M. Teresa Estevan Bolea**

**ITSEMAP**



R.847





A mi hija TERRY,  
con la esperanza de que su futuro  
tenga un ambiente natural y  
social más sano y equilibrado.

# **EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL**

MAPFRE  
BIBLIOTECA  
DE  
SEGUROS

812  
EST

E. 12994

R. 847  
NI. 7053

fundación  
**MAPFRE**



**EVALUACION  
del  
IMPACTO  
AMBIENTAL**

M. Teresa Estevan Bolea

## Indice

	<u>Págs.</u>
<i>Prólogo</i> .....	XV
<i>Introducción</i> .....	XVII
<b>1. Objetivos de la evaluación ambiental</b> .....	1
Definición y significado de las evaluaciones de impacto ambiental .....	3
<b>2. Las E.I.A. en los procesos de decisión</b> .....	13
Los factores ambientales en la localización industrial ....	16
Acciones, programas y proyectos que requieren una evaluación de impacto ambiental .....	24
<b>3. Criterios y bases para la E.I.A.</b> .....	41
Identificación y estimación de impactos .....	41
Generación de estrategias .....	50
Evaluación de variables .....	50

© Fundación MAPFRE

Dep. Legal: M-23366/1984

I.S.B.N.: 84-7100-138-1

*Impreso en España*

*Printed in Spain*

Editorial MAPFRE, S.A.

Pº de Recoletos, 25

28.004 - MADRID (España)

Impreso por:

Central de Artes Gráficas, S.A.

TORREJON DE ARDOZ (Madrid)

	<i>Págs.</i>
<b>4. Métodos y modelos para efectuar las evaluaciones de impacto ambiental</b> .....	53
Métodos aplicables .....	59
Conclusiones .....	114
<b>5. Sistemática a seguir en la preparación de un estudio de impacto ambiental</b> .....	119
Estudio preliminar de impacto ambiental .....	119
Descripción del proyecto o acción .....	123
Medidas correctoras o de atenuación del impacto ambiental .....	136
Organización y seguimiento de las E.I.A. ....	137
<b>6. El impacto ambiental sobre la calidad del aire</b> .....	139
Contaminantes de la atmósfera .....	141
Procedimiento de cálculo .....	157
Redes de vigilancia de la calidad del medio .....	179
Red de vigilancia de la calidad del aire .....	181
<b>7. Impacto sobre el agua</b> .....	189
Aguas continentales .....	189
Aguas subterráneas .....	194
Plan de vigilancia de la calidad de las aguas .....	261
<b>8. Impactos sobre el medio terrestre</b> .....	269
Indicadores biológicos de calidad en el medio terrestre ..	271
Estudio de biocenosis .....	271
Indicadores ecológicos, especies indicadoras .....	273
Indicadores funcionales .....	275
Estructura trófica y flujo de energía .....	277
Otros impactos .....	280

	<i>Págs.</i>
Residuos sólidos .....	280
Residuos tóxicos y peligrosos .....	281
<b>9. Casos prácticos de evaluaciones del Impacto Ambiental</b> ..	291
<i>Caso 1.</i> Evaluación del impacto ambiental de un puerto industrial y su entorno. Industrias petroquímicas y refino de petróleo .....	293
Descripción del proyecto y su entorno .....	294
Descripción del medio ambiente antes de implantar el proyecto .....	309
Evaluación de los impactos ambientales .....	339
Estudio y análisis ambiental del complejo petroquímico Laguna del Ostión .....	345
Evaluación de los impactos ambientales .....	351
Sistemas de tratamiento de las aguas residuales .....	359
Medidas de atenuación de los impactos .....	368
Medidas para corregir o atenuar la contaminación atmosférica del complejo petroquímico .....	369
Medidas para corregir o atenuar el impacto sobre las aguas del complejo petroquímico .....	375
Sumario .....	380
<i>Caso 2.</i> Embalses de usos múltiples y centrales hidroeléctricas .....	385
El impacto ambiental de las presas y embalses sobre el medio. Efectos físicos y biológicos .....	387
Efectos sociales .....	394
Método de evaluación de la Comisión Internacional de Grandes Presas .....	394
Caso de Salto Grande (Argentina-Uruguay) .....	404
Caso de la presa, embalse y central hidroeléctrica de Itaipu (Brasil-Paraguay) .....	410
Proyecto Mymba-Kuera .....	414

	<i>Págs.</i>
<b>Caso 3. Evaluación del impacto ambiental de una planta de cemento</b> .....	419
Materias primas .....	420
Medidas correctoras .....	425
<b>Caso 4. Evaluación del impacto ambiental de una central termonuclear</b> .....	431
Metodología .....	432
Evaluación de los impactos ambientales en las diferentes fases .....	438
Indicadores del impacto ambiental .....	443
Revisión de los estudios efectuados para la selección del emplazamiento .....	445
Diagnóstico del medio ambiente en la fase preoperacional. Inventario Ambiental. Descripción de la zona de ubicación de la central .....	446
Central nuclear .....	462
Sistemas de tratamientos de residuos radiactivos y procedencia de los mismos .....	464
Evaluación de los efectos ambientales .....	467
Efluentes radiactivos. Límites de emisión .....	471
Residuos radiactivos .....	475
Radiactividad de fondo. Fase preoperacional .....	479
Cálculo del impacto físico. Actividad que escapa a la atmósfera y al medio acuático. Modelos de dispersión .....	480
Definición del mayor escape verosímil de productos de fisión .....	481
Emisiones durante el funcionamiento de la central .....	483
Caminos de exposición .....	487
Evacuación de residuos radiactivos sólidos .....	488
El impacto térmico. Efectos de la contaminación térmica. Sistemas de refrigeración .....	491
Programa de vigilancia y control ambiental. Redes de vigilancia .....	493

	<i>Págs.</i>
Criterios de seguridad y de protección radiológicos .....	495
Informes de seguridad .....	496
El impacto radiactivo en caso de accidente .....	497
Impacto socioeconómico de la construcción y funcionamiento de la central .....	499
Sumario del análisis coste-beneficio .....	504
<b>10. Aspectos legales e institucionales de las E.I.A.</b> .....	507
Marco jurídico y administrativo. Procedimientos .....	507
<i>España</i> .....	511
<i>Estados Unidos de América</i> .....	519
Directrices y reglamentación emitidas por el Consejo de Calidad Ambiental en materia de informes de impacto ambiental en EE.UU. ....	523
Aspectos ambientales a considerar en los informes de impacto ambiental en los EE.UU. ....	526
Proceso de tramitación de un informe de impacto ambiental en EE.UU. ....	528
Contenido de un DIA en EE.UU. ....	532
Papel de la EPA en la revisión de informes de impacto ..	532
<i>Canadá</i> .....	535
Evaluación elemental .....	538
Evaluación ambiental inicial .....	539
Examen de proyectos con impactos potencialmente significativos. Informe de impacto ambiental en Canadá .....	540
Participación pública en Canadá .....	542
<i>México</i> .....	547
<i>Brasil</i> .....	549
<i>Argentina</i> .....	553

	<i>Págs.</i>
<i>Comunidad Económica Europea</i> .....	557
Las E.I.A. en la Comunidad Económica Europea .....	557
Razones para la implantación de las E.I.A., por la Comuni- dad Económica Europea .....	558
Contenido de los estudios de impacto en la CEE .....	561
<i>Francia</i> .....	565
Contenido de un estudio de impacto en Francia .....	568
Importancia del concepto de alternativa .....	569
La publicidad de los estudios de impacto en Francia ....	570
<i>República Federal de Alemania</i> .....	573
<i>Holanda</i> .....	577
<i>Israel</i> .....	585
<i>Japón</i> .....	587
<i>Unión Soviética</i> .....	591
<i>Organismos Internacionales</i> .....	595
<i>Bibliografías y referencias utilizadas</i> .....	597
<i>Bibliografía complementaria. Planteamiento global</i> .....	600

## Prólogo

*La Fundación MAPFRE a través del ITSEMAP, (Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE) de reciente creación, y de forma más concreta por medio del Centro de Higiene Ambiental, impulsa y promociona, haciéndose eco de la creciente demanda social, actividades preventivas y correctoras del medio ambiente.*

*En esta línea edita con verdadera satisfacción la monografía «Evaluación del Impacto Ambiental» cuya autora, M<sup>a</sup> TERESA ESTEVAN BOLEA, Dr. Ingeniero Industrial y gran especialista de la protección del medio ambiente, ocupó hasta hace poco tiempo el cargo de Directora General del Medio Ambiente en la Administración española.*

*En las más de 600 páginas de esta publicación se tratan de manera amplia, tanto los contenidos concretos que configuran el concepto medio ambiente, como los criterios básicos para analizar la incidencia ambiental de un proyecto, instalación o programa.*

*En este libro se recogen las metodologías y técnicas adecuadas para realizar las evaluaciones de impacto ambiental, así como cuatro estudios de casos reales, por lo que estimamos puede ser una excelente herramienta de trabajo para industrias; empresas consultoras de ingenierías; organismos de la Administración Central, Autonómica y Local; Centros de*

*Estudios e Investigación y Departamentos de Universidad de ámbito nacional e internacional, todos ellos relacionados en su quehacer diario con el medio ambiente.*

*Confiamos en que este nuevo trabajo, continuación de la labor diaria que la Fundación realiza en el cumplimiento de sus fines estatutarios, sirva de impulso fundamental para el desarrollo de este campo de la Prevención.*

CARLOS ALVAREZ JIMÉNEZ  
Director Gral. de Fundación MAPFRE

## Introducción a las evaluaciones de impacto ambiental

*El objetivo final de la política de medio ambiente es la protección de la salud del hombre y la conservación, en cantidad y en calidad, de todos los recursos que condicionan y sustentan la vida: el aire, el agua, el suelo, el clima, las especies de flora y fauna, las materias primas, el hábitat y el patrimonio natural y cultural.*

*Las políticas ambientales iniciales, orientadas hacia la lucha contra la contaminación y el deterioro, han ido evolucionando progresivamente hacia una política global y preventiva, y ello es así, porque las interrelaciones entre los diversos recursos y su gestión exigen la puesta en marcha de estrategias globales, en las que ocupa un papel fundamental el principio de prevención.*

*La participación o inserción de la política ambiental en el desarrollo económico y social debe reflejarse de ahora en adelante en una mayor incorporación de la dimensión ambiental en las actividades agropecuarias, industriales, transporte y turísticas, tanto públicas como privadas.*

*El momento actual y los años próximos están condicionados por preocupaciones socioeconómicas muy distintas de las que tenía la sociedad hace sólo una década. Realmente el cambio que se ha producido en las sociedades industrializadas en los últimos diez años, ha sido enorme y de este proceso de cambio hay que destacar su velocidad.*

*No es fácil adaptarse a los nuevos requerimientos de esta década de los 80 y no es fácil porque significa, sobre todo, cambiar profundamente de mentalidad.*

*El crecimiento económico en los años 60 y los primeros años de la década de los 70 fue alto y rápido. El desarrollo de esos años se efectuó utilizando muchos recursos naturales, renovables y no renovables, y produciendo desechos, residuos e impactos ambientales importantes, que ahora es preciso corregir. Hay que evitar también que las actividades futuras ocasionen más deterioros en nuestro entorno, adoptando las medidas preventivas necesarias.*

*Durante años se ha señalado que la protección ambiental resultaba excesivamente costosa y frenaba el desarrollo. Con la experiencia de los pasados años se ha podido constatar que no es así. Se ha comprobado que ambas políticas, desarrollo y protección del medio ambiente, son perfectamente compatibles.*

*Es más, el nuevo modelo de desarrollo que exigen los problemas y necesidades de esta época obliga a llevar a cabo un desarrollo sostenido y equilibrado, protegiendo el medio ambiente y haciendo un uso racional de los recursos naturales, tanto de los renovables como de los no renovables y prestando una atención especial al agua y al recurso tierra.*

*Es evidente también que el modelo de crecimiento económico industrial está agotado en sus planteamientos de los años 60 y 70 y que la necesidad de dar respuesta al problema del desempleo figura como primera prioridad en los sistemas políticos de los diferentes países.*

*De ahí la importancia que puede tener llevar a cabo una buena y meditada política ambiental, gran generadora de puestos de trabajo en nuevas actividades, recuperando además materias primas y ahorrando recursos; dando entrada a nuevas profesiones e incorporando gente joven al mundo laboral, que hoy tiene pocas salidas profesionales. Finalmente hay que destacar el aspecto más importante de este planteamiento, que es el de la financiación. Estas actividades son fácilmente financiables, con cargo directo a la población, mediante un reparto justo y equitativo de los costos de los servicios prestados y obras e instalaciones realizadas, descargando estos costos de los Presupuestos estatales.*

*Una política de protección del medio ambiente eficaz requiere que se cumplan cuatro condiciones básicas.*

*En primer lugar, un marco normativo suficiente que represente un respaldo legal, eficaz tanto para amparar una acción como para reprimirla, si es necesario.*

*En segundo término una voluntad política de hacer cumplir la Ley, no tolerando situaciones singulares e incorporando en esta tarea los esfuerzos de la comunidad, cada uno según su responsabilidad y necesaria participación.*

*En tercer lugar, potenciar la colaboración de la Sociedad, a través de los grupos sociales organizados para que haya una unidad de criterios y actuaciones entre ésta y el Estado. La labor de concienciación ciudadana y educación ambiental son fundamentales y debe impulsarse e incrementarse lo antes posible.*

*Finalmente será preciso establecer un conjunto de instrumentos y medidas para que la política ambiental, integrada en la política socioeconómica, no carezca de los medios y recursos necesarios. De entre estos instrumentos hay que destacar los estudios de impacto ambiental.*

*Los responsables públicos y privados necesitan disponer de una información real y completa sobre los efectos que ciertas actividades y proyectos de tipo industrial, civil, turístico, urbano o agrario pueden tener sobre el medio ambiente. De este modo, la decisión sobre la viabilidad y conveniencia de un proyecto o de determinada actividad, puede ser tomada con un conocimiento real y completo del problema.*

*Es preciso conocer dos clases de consecuencias que pueden derivarse de cualquier acción humana, unas son las consecuencias sobre el medio natural, y las otras inciden sobre el hombre y sus creaciones propias; por lo tanto, los estudios a realizar pertenecen a las dos ramas básicas de Ciencias de la Naturaleza y Ciencias del Hombre.*

*La construcción de un puerto, la instalación de una fábrica, el trazado y construcción de una vía o red de vías de comunicación, o de un embalse, el planeamiento y desarrollo de áreas residenciales, la instalación de un matadero, la implantación de un plan de regadíos o de desarrollo ganadero, son algunos ejemplos de acción humana sobre el entorno que requieren antes de realizarse conocimientos claros y profundos del medio en que van a situarse y de las consecuencias, positivas o negativas, que sobre este medio ha de tener la acción proyectada. Deben analizarse los factores que*

*pueden afectar a elementos vivos de la naturaleza, vegetales o animales y los que pueden influir en los elementos inertes, tierra, aire y agua.*

*La prevención de los impactos ambientales es necesaria en todo programa de desarrollo pero especialmente en las grandes obras públicas o en las instalaciones industriales potencialmente contaminantes. En el capítulo de grandes obras, las de carácter hidráulico, marítimo-portuario y de comunicaciones (carreteras, ferrocarriles, aeropuertos), entran plenamente en el ámbito que nos ocupa. También requieren especial atención las actuaciones de tipo ganadero y agrícola moderno, representadas por grandes implantaciones de monocultivos industriales o semiindustriales, pues la agricultura, en su fase actual en los países desarrollados, es probablemente uno de los elementos más poderosos de modificación ambiental o de transformación de la naturaleza, por lo que tales acciones deben realizarse armonizando el crecimiento o desarrollo necesario para el hombre, con las características ecológicas de las zonas sobre las que se actúe.*

*El propósito de este libro es detallar los conceptos, contenidos, criterios, metodologías y técnicas adecuadas para la realización de los estudios de incidencia ambiental de determinados proyectos y acciones y sistematizar un conjunto de información relacionada con los mismos, con el fin de que pueda utilizarse como guía en los trabajos de evaluación del impacto ambiental.*

*La realización de estos estudios requiere unos procedimientos administrativos y el empleo de unas técnicas y metodologías de evaluación que poco a poco se van desarrollando.*

*Entendemos por procedimientos los condicionamientos administrativos y legales que afectan o regulan las evaluaciones de impacto ambiental.*

*Los procedimientos administrativos; los mandatos legales; la determinación de quien debe ser el promotor de estos estudios; los objetivos que debe trazar el planificador; las responsabilidades que corresponden a cada uno en el enjuiciamiento de los resultados de estas evaluaciones; las decisiones del ejecutivo; el alcance de los estudios; el momento de su ejecución, son puntos muy importantes de la gestión ambiental.*

*Las evaluaciones de impacto ambiental pueden integrarse en dos tipos de procedimientos, bien sea estableciendo un marco jurídico y administrativo «ad hoc» o bien introduciéndolas en la estructura administrativa existente, regulando o no jurídicamente su realización.*

*La mayoría de los países industrializados han establecido ya una normativa y unos procedimientos para regular este importante capítulo de la política ambiental y son numerosas las Evaluaciones de Impacto Ambiental que se realizan anualmente.*

*Estos análisis ambientales son un conjunto de estudios e información que debe incluir una evaluación completa de impacto ambiental. Se elabora a petición de la Administración de cada país o simplemente por exigencias legales de los países mismos, con el fin de que las decisiones ejecutivas se efectúen sobre la base de un conocimiento riguroso de la acción propuesta y unas alternativas debidamente consideradas.*

*En cualquier proyecto o programa de desarrollo se solían preparar, hasta ahora, una serie de estudios que proporcionaban los puntos de vista económicos y de ingeniería, y en los que se analizaban la necesidad del programa (justificación del proyecto) y las relaciones entre costes y beneficios monetarios. Pero últimamente la sociedad está pidiendo que se tomen en cuenta los aspectos ambientales, y por ello se viene exigiendo un estudio detallado del efecto sobre el medio ambiente del proyecto en cuestión, comprendida una valoración de los costes ecológicos además de los monetarios, si es posible.*

*Este conjunto de evaluaciones: la tecnológica; la monetaria en coste-beneficio directo y estrictamente económico; y la ecológica, deben efectuarse paralelamente y de forma integrada. Todo ello es lo que constituye la Evaluación de Impacto Ambiental (E.I.A.).*

*Por consiguiente, los trabajos necesarios para una Evaluación de Impacto Ambiental deben realizarse por un equipo interdisciplinario de ingenieros, economistas y científicos físicos y sociales.*

*En el fondo, lo que persiguen estos dictámenes es disponer de una información real, rigurosa y objetiva, sobre el impacto ambiental de determinados programas o proyectos de desarrollo en una zona o región, para someterla a las autoridades competentes y a la opinión pública y todo ello, con el fin primordial de la prevención de la incidencia desfavorable de las grandes obras y acciones de desarrollo sobre el medio, a través de la previsión.*

*El desarrollo de estas técnicas y análisis de las metodologías y objetivos es el propósito de este libro.*

## Objetivos de la evaluación ambiental

El objetivo básico de las evaluaciones de impacto ambiental es evitar posibles errores y deterioros ambientales, costosos de corregir después.

La protección del medio ambiente es una condición ineludible del desarrollo económico equilibrado.

Los estudios de incidencias ambientales se vienen haciendo desde hace años, sobre todo, en los países más industrializados. Estos estudios tenían unas características muy propias de todo el tratamiento de los temas ambientales en sus comienzos, o sea un carácter eminentemente técnico, considerando apenas los impactos físicos, y con un conocimiento muy restringido de los mismos, que se limitaba a algunos técnicos y científicos, y algunos miembros de la Administración.

Por consiguiente, aunque la idea de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) no es nueva, ha sido en los años transcurridos desde la década de los 70 cuando se han empezado a realizar con un cierto rigor, sobre todo en su verdadero contenido ambiental y abarcando, en lo posible, los distintos aspectos del medio ambiente natural y social.

La idea, el concepto y el contenido de las Evaluaciones de Impacto Ambiental, tal como se entiende en la actualidad, nació en los Estados Unidos, con la Ley de Política Ambiental, National Environmental Policy Act de 1969 (NEPA), puesto que fue allí donde se definieron las EIA y donde se institucionalizó esta actividad.

La necesidad de implantar los estudios de impacto ambiental derivó de la inadaptación de los métodos tradicionales de evaluación de proyectos, que no consideraban la protección del medio físico ni el uso racional de los recursos, a la situación de los años setenta, que requería además considerar los aspectos sociales (costos y beneficios sociales) de un determinado proyecto o acción de desarrollo.

La consideración de los problemas ambientales requería disponer de nuevas técnicas y metodologías de evaluación que permitieran introducir en la preparación de las decisiones los efectos de los proyectos de desarrollo en el medio natural y social, difíciles de identificar y cuantificar.

Como se ha puesto de manifiesto en la Comunidad Económica Europea, las funciones específicas que las EIA han de cumplir pueden ser definidas como funciones de conocimiento, coordinación y racionalización, flexibilidad y consenso.

Las EIA están concebidas como instrumento de conocimiento al servicio de la decisión y no como un instrumento de decisión.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental tienen una importante función de coordinación en relación con los distintos mecanismos tradicionales de control, en la medida en que tienen como fin presentar una información integrada de los impactos sobre el medio ambiente y dado que las autoridades públicas competentes de los diferentes sectores están asociadas en el proceso de evaluación. Las EIA permiten recoger los puntos de vista parciales de las autoridades competentes y evitar con ello la sectorialización de controles en materia ambiental. Las ventajas de tal función podrían ser medidas en términos de racionalización de los procedimientos administrativos de control de decisión y de ganancia de tiempo en los plazos de autorización.

Por otra parte, mientras que los procedimientos de control existentes verifican la simple conformidad de las actividades consideradas con las normas ambientales, una evaluación de impacto real en una situación concreta, permitirá a las autoridades públicas, entes privados y a la opinión pública, identificar mejor las medidas de protección eventualmente necesarias. De ello, se inferiría una mayor flexibilidad y adaptabilidad en el control de las situaciones concretas.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental tienen que realizar una importante función en el contexto de la adaptación institucional, ante la necesidad creciente de solución de los conflictos sociales. Conflictos que se manifiestan con ocasión de la construcción de grandes obras públicas y privadas. Una mayor transparencia de la acción administrativa y un diálogo

go más sistemático, posible gracias a su carácter público, podrán asegurar un mejor consenso social en la acción de los poderes públicos.

## DEFINICION Y SIGNIFICADO DE LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

### Definición de Impacto Ambiental

Se dice que hay un impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio.

Un impacto de un proyecto sobre el medio ambiente puede definirse como la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro modificado, tal y como resultaría después de la realización del proyecto, y la situación del medio ambiente futuro, tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación.

Los impactos ambientales pueden ser directos o indirectos; pueden producirse a corto plazo o a largo plazo; ser de corta o larga duración; acumulativos, reversibles o irreversibles; inevitables.

Un impacto ambiental directo o primario es la alteración que sufre un atributo o elemento ambiental por la acción directa del hombre sobre dicho atributo. Las consecuencias derivadas de los impactos directos, son los indirectos o secundarios, ya que son inducidos por los primeros.

Los impactos directos o primarios generalmente son fáciles de identificar, describir y valorar, puesto que son los efectos directos del proyecto o acción. Por ejemplo, la emisión de contaminantes a la atmósfera procedentes de un proceso de combustión ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , partículas sólidas); los vertidos líquidos de contaminantes a un cauce receptor (DBO, sólidos disueltos, calor, color, metales pesados, productos tóxicos); utilización de recursos; accidentes; empleo generado, etc.

Los impactos secundarios corresponden a los efectos indirectos del proyecto. Generalmente son inducidos por los impactos primarios o efectos directos y muchas veces no resultan fáciles de identificar y de controlar. A veces, los impactos secundarios tienen más entidad que los primarios y a largo plazo, son los que causan los verdaderos problemas.

Impactos secundarios típicos son, por ejemplo, los que se han producido en determinadas zonas industriales o urbanas, como consecuencia del crecimiento de la población, que se ha asentado en el entorno, por haber

participado en la construcción de los proyectos o por haberse incorporado a las industrias en funcionamiento. Este fuerte y rápido crecimiento demográfico de las áreas industriales ha demandado viviendas, escuelas, servicios sanitarios, agua, transporte y otros elementos y equipamiento comunitario que no se habían previsto y cuya falta ha dado lugar a fuertes conflictos sociales. Estas dotaciones de infraestructura y servicios son después muy costosas y difíciles de realizar.

Otros efectos secundarios de un proyecto dado son los que resultan de una pérdida de valor de terrenos y propiedades, como consecuencia de la contaminación de la zona o del deterioro del agua, cuyo tratamiento resulta mucho más costoso y obliga a la población o a otras actividades al cambio de emplazamiento.

Otro ejemplo de impactos secundarios son los que se producen en una zona, cuyas aguas residuales son vertidas a un cauce receptor sin depurar, por poder absorber esta carga contaminante que se autodepura bien, pero en cuya zona posteriormente se captan aguas, aguas arriba del punto de vertido anterior. Se disminuye así el caudal y el río no tiene capacidad para autodepurar las aguas residuales que recibe, obligando a depurar.

Los impactos deben valorarse también por sus efectos a corto y a largo plazo y estudiar su persistencia o no.

Se dice que un impacto ambiental es a corto plazo cuando se produce inmediato a la realización de la acción. Si aparece después de cierto tiempo de realizada la acción, el impacto es a largo plazo.

Un ejemplo de impactos a corto plazo son las molestias derivadas de la construcción de una obra, en cuyo período se producen ruidos, polvo, aumento importante del tráfico en el entorno, presencia de personal temporal que trabaja en la construcción, etc. Estos impactos desaparecen o se reducen hasta niveles admisibles una vez acabada la construcción.

Como ejemplo de impactos a largo plazo, positivos y negativos, pueden citarse los efectos de aguas embalsadas y la modificación del régimen de los ríos; o los efectos sobre zonas forestales de la emisión continua de contaminantes a la atmósfera que dan lugar a la acción del  $\text{SO}_2$  y el  $\text{NO}_2$  sobre los vegetales y a las lluvias ácidas o los daños que pueden causar los vertidos de aguas residuales conteniendo metales pesados o productos tóxicos o persistentes.

También son impactos a largo plazo los que se producen en las corrientes de agua por arrastre de sólidos en cantidades notables. Por una parte se produce un aterramiento en los embalses, que puede llegar, en unas decenas de años, incluso a la colmatación de alguno y por otra parte, se

origina una pérdida de tierras valiosas en las cabeceras de cuenca y en otros trayectos deforestados o sin cubierta vegetal. Estos fenómenos de erosión de los suelos y desertificación son aún más preocupantes que el azolvamiento de embalses, lagos o lagunas, puesto que en último término se puede recuperar la capacidad de embalse dragándolos y aprovechando los lodos extraídos. Es un problema sólo económico, pero los deterioros de erosión del suelo son casi imposibles de restaurar.

En determinados proyectos, como en el caso de las explotaciones mineras a cielo abierto, debe estudiarse la reversibilidad de los fuertes impactos que se originan, puesto que finalizada la extracción de carbón o minerales, se procede a restaurar la zona alterada. En España la legislación lo exige y es una condición totalmente necesaria.

Se consideran igualmente los impactos acumulativos y los sinérgicos.

Como puede observarse, las variables fundamentales en estos estudios son la identificación y la cuantificación de la posible alteración o modificación.

### Evaluaciones de impacto ambiental. Definición

Las evaluaciones de impacto ambiental son estudios realizados para identificar, predecir e interpretar, así como para prevenir, las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones, planes, programas o proyectos pueden causar a la salud y al bienestar humanos y al entorno.

En los estudios de impacto ambiental se trata de evaluar las consecuencias de una acción, para ver la calidad ambiental que habría «con» o «sin» dicha acción.

Las evaluaciones de impacto ambiental, que en adelante denominaremos E.I.A., son también un proceso de estudios y consultas que evalúa o considera de forma comprensible los efectos sobre el medio ambiente de una nueva actividad; ya sea la preparación de legislación, o la elaboración de determinados planes, programas o nuevos proyectos, con la participación del público y analizando posibles alternativas.

El dictamen o informe de impacto se considera el instrumento o herramienta que permite comunicar a los demás el resultado de una evaluación, incluyendo las alternativas al proyecto o acción. Por tanto, se entiende que estos instrumentos son básicos para la elección de alternativas y para la selección o adopción de una propuesta. En los países anglosajones el dictamen de impacto ambiental se denomina declaración de impacto ambiental.

Las E.I.A. son, pues, un instrumento de conocimiento al servicio de la decisión, pero no son por sí mismas un instrumento de decisión, como ya se ha indicado. Sin embargo, son el instrumento o herramienta idóneos para una toma de decisión basada en un conocimiento amplio e integrado de los impactos o incidencias ambientales.

Se ha dicho que las E.I.A. son la clave de la gestión ambiental, puesto que son el instrumento idóneo para la implantación de políticas ambientales preventivas.

### Gestión ambiental

Se entiende por gestión ambiental al conjunto de acciones encaminadas a lograr la máxima racionalidad en el proceso de decisión relativo a la conservación, defensa, protección y mejora del medio ambiente, basándose en una coordinada información multidisciplinar y en la participación ciudadana. Todo ello da origen a una nueva metodología de decisión en materia ambiental, e incluso en materia económica y socioeconómica, que supone la aceptación por parte del hombre de la responsabilidad de protector y vigilante de la naturaleza, administrando debidamente los recursos medioambientales, partiendo de una perspectiva ecológica global, que posibilite la actividad humana, manteniendo la calidad de vida y la diversidad y el equilibrio biológico a largo plazo.

La gestión ambiental se apoya básicamente en una serie de principios, de los que hay que destacar los siguientes:

- Optimización del uso de los recursos (ya sean recursos naturales, renovables o no renovables, recursos ambientales, recursos económicos y financieros o recursos humanos).
- Previsión y prevención de impactos ambientales.
- Control de la capacidad de absorción del medio de los impactos, o sea control de la resiliencia del sistema.
- Ordenación del territorio.

Estos principios enunciados de forma general son coherentes y deseables pero la realidad es que, en muchos casos, no son fáciles de alcanzar. Por ejemplo, la optimización del empleo de recursos es muy difícil; la base científica para la selección de alternativas con visión global tiene grandes

lagunas; la sociedad se interesa algo por el medio ambiente pero hay que reconocer que mucho menos que por otros objetivos. Además, las estrategias de optimización pueden ser, y de hecho lo son, muy distintas a corto o a largo plazo.

Las Evaluaciones de Impacto Ambiental deben entrar en la planificación al mayor nivel posible porque aplicadas a una acción aislada pueden dar buenos resultados pero éstos variarán mucho en un contexto más amplio.

Actualmente son muchos los países que, regulados legalmente o no, realizan normalmente estos estudios e informes de impacto, entre ellos se pueden señalar: Canadá, EE.UU., Mexico, Argentina, Brasil, Holanda, Alemania, Francia, España, Inglaterra, Japón, Israel, Australia y otros muchos, entre ellos, prácticamente todos los países europeos.

En España en materia de evaluaciones de impacto ambiental y su consiguiente presentación a la Administración en forma de declaración o informe —o de evaluaciones y declaraciones hechas por la propia Administración—, hasta la fecha sólo se ha legislado algo en lo que se refiere a una parte del impacto físico, que es la contaminación atmosférica.

Sin embargo, este tema requiere una regulación urgente, de modo que el Organismo administrativo encargado de la gestión ambiental, pueda hacer la declaración de estar incurso cualquier actividad en grave incidencia ambiental y exigir un informe de impacto ambiental antes de proceder a su autorización. El informe de impacto ambiental debería ser vinculante.

### Funciones de las evaluaciones de impacto ambiental

En los programas de política ambiental se concede gran importancia a las E.I.A. a las que se asignan cuatro funciones, que son:

- Conocimiento.
- Coordinación y racionalización.
- Flexibilidad.
- Consenso.

#### Conocimiento

Efectivamente estos estudios son, como ya se ha dicho, la mejor herramienta para lograr un conocimiento profundo y extenso de la incidencia de una acción o proyecto en una determinada localización, puesto que facilita una información integrada de los posibles impactos sobre el medio natural y sobre el medio social, destacando dos aspectos:

- a) El ecológico, principalmente orientado hacia los estudios de impactos físico o geofísicos.
- b) El humano, que contempla las facetas socioeconómicas y culturales.

Ambos aspectos plantean la cuestión de los efectos a largo plazo sobre los ecosistemas naturales, que son parte integral de la biosfera y de la existencia del hombre.

#### *Coordinación y racionalización*

Se logra una buena coordinación en relación con los mecanismos tradicionales de control, puesto que la multidisciplinariedad de las E.I.A. obliga a abordar la consideración de los impactos ambientales desde un punto de vista global pero abarcando los diferentes aspectos. Ello hace que se involucren en ellos los diferentes sectores asociados al proyecto y, por consiguiente, a la evaluación. Representa también una racionalización de la gestión ambiental, a través de su unidad.

#### *Flexibilidad*

El hecho de estudiar casuísticamente los efectos ambientales de una acción o proyecto concreto en una determinada localización, en un entorno dado, permite aplicar medidas correctivas ajustadas, optimizando su coste (es decir, es el instrumento válido para la aplicación del principio locacional). Esto supone una mayor flexibilidad que la rígida aplicación de la legislación general, por ejemplo en cuanto a niveles de emisión y una mejor adaptabilidad a las necesidades ambientales.

Cada vez parece más necesario aplicar, en cada caso, las medidas correctoras precisas en los grandes proyectos y las especificaciones y controles ambientales idóneos pero óptimos, lo que representa conocer bien tanto el entorno en que se va a ubicar el proyecto, como las consecuencias ambientales del mismo. Es evidente que ésto sólo puede conseguirse con el estudio previo del impacto ambiental.

Parece lógico que en los próximos años se vaya modificando la normativa que regula las emisiones y vertidos, con límites establecidos con carácter general para todo el territorio nacional, porque no tiene mucho sentido. Seguramente se fijará un intervalo de valores acorde con la capacidad de absorción del medio de los residuos, hasta un punto en que no se altere el equilibrio ecológico del sistema.

Es verdad que esta forma de gestión ambiental requiere personal más formado, sobre todo en la Administración Pública, pero también es cierto que el ahorro de recursos naturales y económicos puede ser tan alto que se justifica plenamente. Las E.I.A. son absolutamente necesarias en tales casos.

Otra cosa es la normativa que regula los valores de calidad (inmisiones) del aire, del agua, etc. que debe ser idéntica para todo el territorio nacional, puesto que los criterios sanitarios mínimos de calidad ambiental han de ser los mismos para todos los ciudadanos.

#### *Consenso*

Cada día resulta más necesario contar con la participación ciudadana en el proceso de decisión, puesto que en los grandes proyectos —puertos, autopistas, carreteras, aeropuertos, gasoductos, líneas eléctricas, grandes plantas de la industria básica, desarrollo urbano— se plantean conflictos frecuentes, en gran medida por alternativas de uso del territorio y en mayor motivo por desconocimiento de los efectos, que son efectos ambientales, del proyecto. Las E.I.A. permiten tener un diálogo amplio, basado en una información completa, con los diversos grupos sociales, que pueden conocer todos los aspectos de la acción y dan también una mayor transparencia administrativa. Todo ello conduce a un consenso social y participación ciudadana absolutamente necesaria.

#### **Contenido de las E.I.A.**

El contenido de las E.I.A. está en relación con el alcance y definición del amplio concepto del medio ambiente.

A finales de los años 60 se consideraban sólo los aspectos de la contaminación; posteriormente se ha visto que los aspectos sociales son tan importantes o más que el problema del deterioro del medio físico.

Ha habido muchas definiciones de lo que se entiende por medio ambiente y sobre el campo que abarca la protección ambiental y casi todas ellas han resultado insuficientes o complejas. La dificultad procede de la extensión y profundidad de este concepto, dificultad que por la misma razón se transfiere a la gestión de la defensa y conservación del medio.

En los estudios de impacto el contenido debe corresponder al que se confiere hoy al concepto de medio ambiente, con sus dos grandes áreas: Medio Natural y Medio Social, cuyos principales aspectos a considerar pueden ser los siguientes, sin que sean exhaustivos:

*MEDIO AMBIENTE NATURAL O FISICO*

- a) Contaminación atmosférica.
- b) Contaminación de las aguas, distinguiendo entre las marítimas y continentales y en estas últimas las superficiales y las subterráneas.
- c) Ruido y vibraciones.
- d) Deterioro del suelo: erosión, sedimentación, desertificación y alteración de la cubierta vegetal y contaminación del suelo por vertidos sólidos, líquidos y gaseosos.
- e) Protección y correcto manejo del recurso tierra.
- f) Protección y restauración de espacios naturales singulares y ecosistemas sensibles.
- g) Protección de especies amenazadas o en peligro de extinción de flora y fauna.
- h) Protección de los recursos vivos del mar.
- i) Utilización racional de los recursos naturales: renovables y no renovables.
- j) Correcto tratamiento de los residuos sólidos.
- k) Efectos de las radiaciones ionizantes.

*MEDIO AMBIENTE SOCIAL*

- a) Demografía.
- b) Aspectos económicos de la protección del medio ambiente, incluyendo la generación de empleo.
- c) Marco jurídico.
- d) Conflictos sociales en las áreas urbanas deterioradas.
- e) Problemática de asentamientos humanos.
- f) Consideración de la dotación de equipamientos comunitarios e infraestructuras.

- g) Ambiente rural y ambiente urbano.
- h) Conservación del patrimonio histórico y cultural.
- i) Educación ambiental.
- j) Concienciación y participación ciudadana.

No todos los aspectos citados se analizan con la misma entidad ni extensión, pero en todos ellos hay aspectos ambientales de gran trascendencia para conseguir un desarrollo sostenido y equilibrado. Esta relación de atributos del ambiente da una idea muy clara de lo difícil y complejo que puede resultar analizar íntegramente la incidencia ambiental de una obra pública o proyecto privado, si no se delimitan los factores ambientales implicados y si no se definen con claridad los criterios y metodologías a utilizar.

## Las E.I.A. en los procesos de decisión

Posiblemente el aspecto más difícil de los estudios de impacto ambiental es su integración en los procesos de decisión y sin embargo es el factor clave de la protección ambiental y el objetivo básico de estos trabajos.

Las E.I.A. deben incluirse en la evaluación de proyectos lo antes posible.

Las E.I.A. se suelen efectuar en dos estadios de la planificación. El primero corresponde al momento inicial de desarrollo de un proyecto o acción, en cualquier caso, antes de que se comience la construcción o se hayan tomado definitivamente las decisiones. En este caso pueden considerarse varias alternativas y generar diferentes estrategias.

El segundo corresponde a una evaluación del impacto ambiental una vez que el proyecto se ha ubicado en una localización concreta y se han definido las características y capacidad del mismo.

En este segundo caso las alternativas son menos y únicamente pueden generarse estrategias de medidas correctivas.

Una tercera integración de las E.I.A., muy frecuente aunque no es la más deseable, corresponde a proyectos ya construidos o en fase de construcción, donde las estrategias quedan muy reducidas aunque se valoran diversas alternativas, como es la situación del medio «sin» proyecto y «con» proyecto, las diferentes posibilidades de medidas correctivas e incluso algunas modificaciones del proyecto, si se estima necesario.

La legislación debe regular la ubicación en el tiempo de las E.I.A. para los nuevos Proyectos.

En el capítulo 9 se exponen las experiencias jurídico —administrativas de diversos países. Se analizan allí los marcos legales e institucionales de la Administración Ambiental y los procedimientos que se siguen para la inserción de las E.I.A. en el proceso de decisión. Se han estudiado los siguientes países: Canadá, EE.UU., México, Brasil, Argentina, España, Francia, República Federal de Alemania, Holanda, Comunidad Económica Europea, Japón, Israel y la Unión Soviética.

En dicho capítulo hay numerosos ejemplos sobre los citados procedimientos por lo que remitimos al lector a dicho capítulo para una mayor información.

Donde realmente tienen un sentido completo las evaluaciones de impacto ambiental es integradas en el proceso de una planificación socioeconómica. De ahí que los proyectos de los Planes o Programas de Desarrollo deben evaluarse también ambientalmente.

Los modelos de producción de los próximos años deberán ser respetuosos con el medio ambiente. En ese nuevo modelo habrá que contabilizar los bienes ambientales y establecer indicadores y estándares de calidad de vida, objetivos y estables, con primacía de las atenciones espirituales, una vez satisfechas las necesidades elementales primarias, y dentro de un concepto humanista e integral de la persona humana.

La localización idónea de la instalación de actividades económicas (industriales, agrarias, ganaderas, forestales, turísticas) resultaría más fácil si existiera una serie de información y conocimientos previos sobre el medio receptor de tales actividades, es decir, si se dispone de estudios del medio físico, con lo que queda bien determinada la capacidad de acogida del territorio a las diversas alternativas de uso, mediante sus aptitudes idóneas.

La problemática del Medio Ambiente es muy compleja y pluridisciplinar, y debido a ello su estudio se acomete con gran diversidad de enfoques.

No obstante, cuando se trata de examinar objetivamente los pros y los contras de las diferentes opciones en cualquier proceso de decisión sobre materia ambiental se requieren enfoques de tipo global y unitario, de síntesis lo más completa posible, que faciliten la elección racional de la mejor alternativa.

A la concepción económica tradicional, que consideraba el medio ambiente como fuente de recursos extractivos, se ha venido a añadir: posteriormente su reconocimiento explícito como suministrador de un conjunto de importantes servicios de tipo recreativo y de calidad de vida.

Tales servicios proporcionados por la Naturaleza no pasaron desapercibidos a los economistas clásicos; ya JOHN STUART MILL señala en sus Principios de política económica la importancia que tiene para la calidad de la vida la posibilidad de disfrutar de la soledad o de las bellezas naturales. Pero ha sido en el último tercio de nuestro siglo, cuando se ha reconocido un mayor valor a estos servicios, como consecuencia, entre otras causas, de la explosión demográfica y del elevado grado actual de urbanización de la población, de los mayores niveles de vida y educación, de la existencia generalizada de tiempo para el ocio, de las modernas posibilidades de transportes, etc. Es de prever que en el futuro la demanda de dichos servicios recreativos y de calidad de vida aumente, a la vez que se produce una mayor apreciación de los mismos.

Además de los mencionados, el Medio Ambiente presta al hombre un tercer conjunto de servicios que no habían sido reconocidos hasta nuestros días. Se trata de los que proporciona al recibir, almacenar, asimilar y reconvertir, en parte, los residuos inservibles derivados de la actividad humana.

El hombre toma lo que necesita de la naturaleza, extrae lo que le interesa, y necesariamente uno y otro, antes o después, lo devuelve a ella, en la misma u otra forma, pero distorsionando, prácticamente siempre, el orden natural primitivo y contaminándolo con elementos extraños y muchas veces terriblemente nocivos para los sistemas ecológicos.

Puede decirse que el problema de la contaminación tiene su principio básico en el llamado «balance de materiales».

Este principio parte del concepto físico de la conservación de la materia y de la energía y se puede enunciar así: los ingresos (o entradas) de materias y energía en todas las actividades humanas (consumo, producción, transporte...), o bien se incorporan temporalmente al capital social (edificios, bienes de equipo, bienes de consumo...), o bien son consumidos y, transformados o no, son devueltos a la Naturaleza en forma de residuos.

Con el paso del tiempo la mayoría de los bienes incorporados al stock de capital de la sociedad también volverán a la naturaleza en forma de residuos, una vez resulten inservibles al hombre.

Esto no presupone que necesariamente todos los residuos sean contaminantes o molestos en sentido estricto, pero desgraciadamente, aún los que pudiéramos llamar inertes, afean y distorsionan el entorno natural y requieren en definitiva un espacio para su almacenamiento.

La conservación o transformación de los residuos por el hombre (por ejemplo, de estado líquido o gaseoso en sólido, etc.), aunque puede darles una forma más conveniente para su vuelta a la Naturaleza, no los elimina;

los residuos transformados irán a ocupar inexorablemente otro tipo de espacio y producirán otra clase de distorsión en el Ambiente, si bien ésta puede ser menor con la nueva forma o estado.

De forma resumida, puede decirse que el medio ambiente aporta a nuestra sociedad una serie de flujos de bienes y servicios de gran significado económico, que pueden agruparse en tres conjuntos:

- Flujos de bienes y servicios de carácter extractivo.
- Flujos de servicios recreativos y de calidad de vida.
- Flujos de servicios de almacenamiento y asimilación de residuos.

Hay que tener en cuenta también las externalidades o deseconomías o costes ambientales y sociales que la utilización del medio ambiente comporta.

Este planteamiento de los estudios de impacto ambiental difiere notablemente de los esquemas de evaluación —casi exclusivamente económica— que se seguían antes.

Por otra parte, han de ser tenidas en cuenta las desutilidades o costes que se pueden derivar de la acción del entorno, tanto natural como contaminado, sobre la salud, el bienestar y el patrimonio de nuestra sociedad, lo que da lugar a unos flujos económicos de carácter negativo.

Hay autores que proponen considerar estas desutilidades como una reducción de los valores de los correspondientes flujos de bienes y servicios que presta el Medio Ambiente. Por ejemplo, los efectos negativos de un río contaminado como una reducción del valor de los servicios que puede prestar aguas abajo.

Sin embargo, hay veces que resulta útil y necesaria la introducción directa de dichos costes o desutilidades: efectos tales como los de la atmósfera contaminada sobre la salud de las personas o sobre el patrimonio artístico pueden ser más fácilmente contabilizados si se introduce el concepto explícito de flujo medioambiental negativo.

## LOS FACTORES AMBIENTALES EN LA LOCALIZACION INDUSTRIAL

El impacto ambiental de una acción o proyecto es función de dos series de factores: los referentes a las características y tipología de impactos del proyecto o acción y los relacionados con las condiciones del punto de localización y situación de ese entorno, o sea de la denominada resiliencia o capacidad de absorción del medio de esos impactos, o sea del principio locacional.

El principio locacional es enormemente importante desde dos vertientes. Por un lado permite un óptimo aprovechamiento de los recursos y por otro lado, es un excelente instrumento para lograr un desarrollo regional equilibrado.

Tradicionalmente y hasta hace muy pocos años, en la localización de actividades económicas se tenían en cuenta unos factores técnicos y otros económicos y no se estudiaban los factores ambientales.

Los factores de localización industrial, convencionales o tradicionales, pueden resumirse en los siguientes:

- a) El mercado de consumo.
- b) El mercado de abastecimiento de materias primas, agua y energía, o sea los recursos naturales.
- c) La mano de obra o recursos humanos.
- d) El transporte.
- e) El terreno, considerado sólo en cuanto a precio, y en algunos proyectos, en calidad.
- f) La posibilidad de obtención de capital.
- g) Factores de tipo jurídico, fiscal y social.
- h) Existencia de economías externas, o sea recursos creados por el hombre (infraestructura, equipamiento y «ambiente industrial» en el caso de industrias).

En el principio de la industrialización, siglo XVIII, el factor básico fue la disponibilidad de mano de obra, puesto que la industrialización empezó en los países europeos —y sigue siendo así en todos los países— por las manufacturas textiles; siguió en este proceso el desarrollo de la industria siderúrgica y de la minería del carbón. Ambas necesitaban también mucha mano de obra y además las correspondientes materias primas, carbón, minerales y agua. El agua, como recurso natural más importante de los que dispone y necesita la humanidad, ha condicionado tanto el desarrollo del proceso industrial, como el agrario o el urbano.

Entre las variables locacionales de mano de obra y materias primas, se situó un nuevo factor de relación, que es el transporte.

Esta industrialización primaria procedía del pequeño taller nacido en la ciudad medieval; de la producción casi doméstica, en el campo, de las hilaturas de lana y algodón; de la fabricación de manufacturas en los suburbios de las ciudades o del agrupamiento de trabajadores en minas y fundiciones para la extracción del carbón o la fabricación de hierro. La combinación de estos cuatro sistemas productivos originó la expansión industrial del siglo XVIII, que en España fue muy grande en zonas como Valencia y Barcelona.

El proceso de industrialización dió lugar a las primeras concentraciones industriales en las zonas que disponían de recursos energéticos. La industrialización ha evolucionado en su localización conforme ha evolucionado la producción de energía y ha sido la energía eléctrica, muy fácil de transportar a largas distancias y más fácil aún de utilizar, sin que precise almacenamiento, la que ha permitido flexibilizar la localización, al no depender la actividad productora del carbón o de la primitiva energía hidráulica.

#### **La localización industrial como instrumento de política socioeconómica para el desarrollo regional**

Como señala W. H. RICHARDSON la industria tiende a aglomerarse en las regiones más prósperas de un país y este proceso suele ser autosostenido. En el siglo XIX se industrializaron las zonas que disponían de carbón y otras materias primas. Posteriormente el potencial mercado consumidor de los productos fabricados fue un factor de fuerte atracción industrial.

Todavía hay una gran preferencia de los empresarios por las zonas donde hay un ambiente industrial, salvo el caso de la industria básica. Esta preferencia se debe a las ventajas que les representan las economías externas o economías de aglomeración, que A. MARSHALL define como aquéllas que generan o dependen del desarrollo general de la industria. Estas economías representan ventajas como las siguientes: facilidades de suministros; disponibilidad de mano de obra especializada y de directivos y técnicos de alto nivel; mejores servicios generales y mayor dotación de infraestructuras y equipamiento; facilidades de transporte; servicios comerciales y financieros, con gran profusión de establecimientos bancarios y finalmente la existencia de servicios e instalaciones sociales, culturales y recreativas. Todas estas circunstancias tienen un alto poder de atracción y arrastre, por los beneficios que representa para una industria instalarse en el entorno de otras actividades.

Pero todo esto está cambiando, especialmente para la industria básica porque si en las zonas muy industrializadas hay realmente unas economías externas, también se producen unas deseconomías externas o externalidades, que es preciso internalizar o absorber en el proceso de producción y que están relacionadas con los factores ambientales de localización.

Las economías internas dependen del propio desarrollo de la empresa, de su organización y en gran medida de la eficacia de su gestión. Y como economía interna, habrá que enfocar la localización industrial desde el punto de vista de minimizar su impacto ambiental.

Esta es una visión microeconómica de la localización industrial, pero hay otra macroeconómica que es fundamental, puesto que se trata de la consideración de las zonas industriales como un instrumento de política económica al servicio del desarrollo regional, de acuerdo con una adecuada ordenación del territorio.

El espacio industrial se ha considerado como un bien libre, igual que otros recursos ambientales muy valiosos como el aire o el agua. Pero ahora son recursos escasos y por consiguiente, se han convertido en bienes económicos.

El suelo industrial ha sido considerado como efecto y no como causa de la localización. Pero el suelo, cuando está urbanizado, o sea dotado del equipamiento preciso e integrado en la planificación física y económica, induce un importante y necesario desarrollo regional.

Es cierto que para que se produzca lo anterior se requieren las siguientes condiciones:

1. Que la política de localización industrial esté integrada, lo mismo que la consideración de la protección del medio ambiente, en la planificación territorial y urbana.
2. Que se estudien y proyecten bien, y por supuesto se construyan debidamente, las dotaciones de infraestructura, equipamiento, servicios e incentivos económicos a conceder.
3. Que se establezcan bien los objetivos económicos que se persiguen y su encaje en la política socioeconómica.

Las zonas industriales ya no son, pues, un simple soporte de actividades, ni el resultado de la distribución en el espacio de empresas productivas, ni la consecuencia de una zonificación normativa del territorio: es algo más, es un factor de localización y de desarrollo económico e industrial.

En la FIGURA 1 se muestra un diagrama en el que se inserta la ordenación del territorio dentro de la planificación socioeconómica y dentro de ello la evaluación del impacto ambiental de distintas alternativas de un mismo proyecto, por ejemplo del campo siderúrgico, teniendo en cuenta diversos proyectos y sus alternativas, ya sean de localización o de adopción de medidas correctoras para evitar el deterioro ambiental.

### Factores de localización industrial

Hay muchas clasificaciones y es posible estudiar los factores de localización desde distintas vertientes, pero no es objeto de este libro realizar un análisis exhaustivo de los mismos, por lo que solamente se hace una mención, distinguiendo entre factores propiamente técnicos, económicos y ambientales.

Los factores técnicos a tener en cuenta dependen del tipo de industria de que se trate. Tomando el caso que exige mayor número de estudios y en el que hay que tener en cuenta gran número de factores técnicos y sociales, como es la implantación de una Central Termónuclear, los factores locacionales, propiamente técnicos y sociales serían los siguientes:

- *Demográficos*: Analizando la población fija y estacional, si la hubiere.
- *Análisis actividades económicas del entorno*: Agropecuarias, industriales y pesqueras, si las hubiere.
- *Geológicos* del emplazamiento.
- *Sismológicos* del emplazamiento.
- *Hidrológicos* del emplazamiento.
- *Batimétricos* (si procede).
- *Estudios de dinámica marina* (si procede).
- *Meteorológicos*: Meso y micrometeorológicos.
- *Factores relacionados con las características del proyecto*: Tipo y potencia del reactor.
- *Infraestructura eléctrica* (Red Alta Tensión).
- *Infraestructura viaria*.

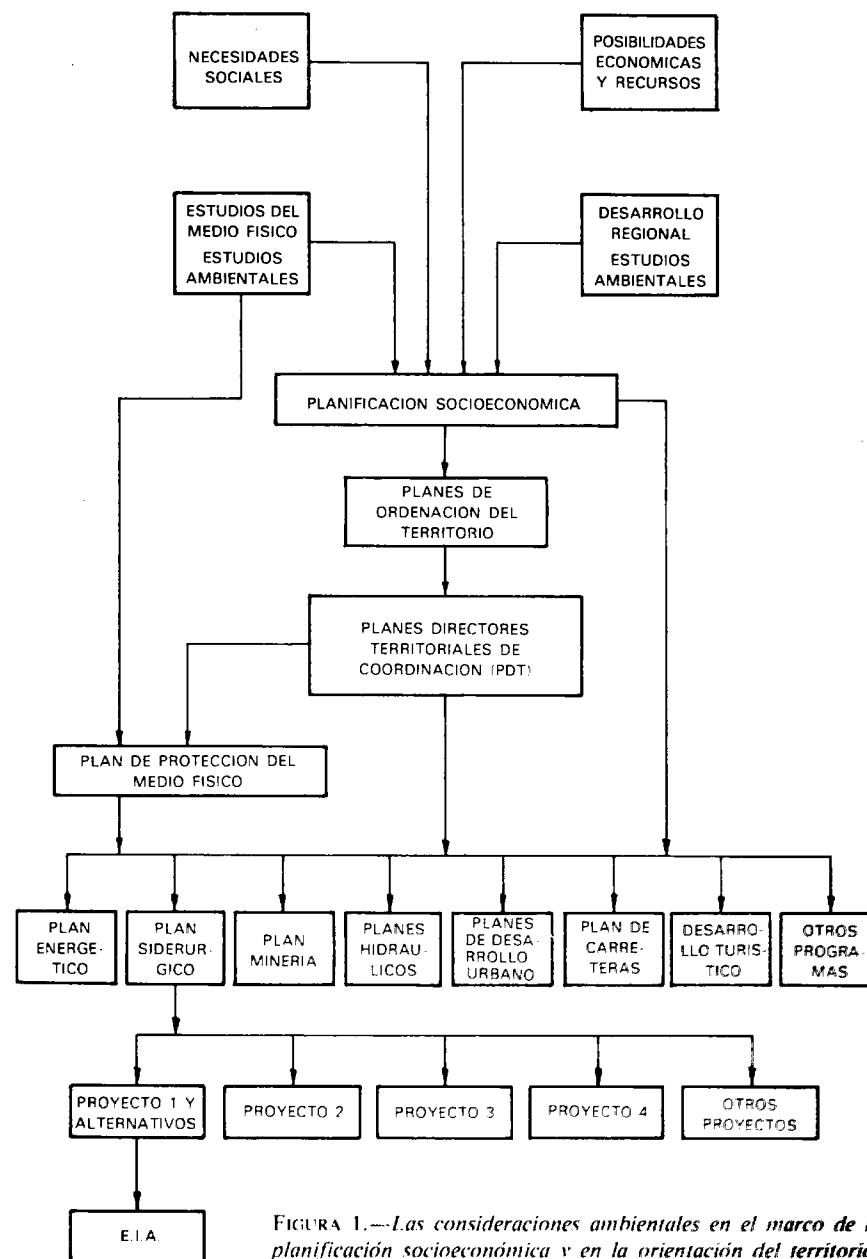


FIGURA 1.—Las consideraciones ambientales en el marco de la planificación socioeconómica y en la orientación del territorio.

- *Disponibilidad agua refrigeración.*
- *Intereses locales, autoridades y público en general.*

Respecto a los factores económicos, la variable fundamental es el potencial mercado consumidor. Hoy día es bastante sencillo producir cualquier tipo de mercancía, la dificultad está en su comercialización. En la fabricación de bienes intermedios y bienes de consumo, en los países industrializados, la producción tiende a acercarse cada vez más al mercado consumidor.

No se analizan otro tipo de variables económicas, como son las subvenciones a fondo perdido por instalarse en zonas de preferente localización industrial o polos de desarrollo, los beneficios fiscales, el fácil acceso al crédito oficial o la existencia de mano de obra barata.

Solamente se quiere comentar un tópico, que es más bien una falacia, sobre el hecho de que los países industrializados exportan a los países subdesarrollados o en vías de desarrollo sus industrias contaminantes.

Las inquietudes ambientales suelen estar en los penúltimos lugares de la relación de factores de localización de una industria. Generalmente priman de forma notable las siguientes variables al adoptar una decisión:

1. Potencial mercado consumidor, puesto que es mucho más fácil producir «in situ» que exportar.
2. Existencia en los países en vías de desarrollo de fuertes barreras arancelarias, que benefician a la producción nacional.
3. Cargas fiscales muy bajas, lo que contribuye a mejorar notablemente los resultados de explotación.
4. Facilidades crediticias oficiales.
5. Mano de obra muy barata.
6. Disponibilidad de materias primas «in situ».
7. Disponibilidad de energía hidroeléctrica o potencial hidroeléctrico grande, como es el caso de América Latina.

Evidentemente las exigencias de protección ambiental son pequeñas, pero no es la variable condicionante para las grandes empresas, multinacionales o no, al buscar esos emplazamientos.

### Factores locacionales ambientales

En la década de los 80 no se puede hablar de localización industrial sin tener en cuenta las condiciones del entorno en que se quiere situar un proyecto industrial y además, la instalación de las plantas productoras deberá hacerse adoptando las medidas correctoras oportunas, para evitar que se produzcan agresiones y deterioros del medio ambiente.

Junto a estas políticas ambientales preventivas, habrá que plantear de forma rigurosa la conservación de los recursos, tanto de los renovables como de los no renovables, mediante el uso racional de los mismos.

Las consideraciones ambientales, en los países industrializados, relacionados con la localización industrial se basan en los siguientes tres principios de la política de protección del medio ambiente:

- Principio locacional, relacionado con la resiliencia del medio.
- Principio de la prevención de los deterioros ambientales.
- Principio de causalidad o de la imputación de los costos de la prevención, que deben absorberse en los costos de producción y naturalmente repercutirse en el precio del producto, como un factor más del costo de producción.

Se han definido los factores ambientales, con relación a un proyecto, como las consecuencias ambientales de la puesta en marcha del mismo ya sea en sus fases de construcción, de operación o a largo plazo.

Los factores ambientales se detallan en el capítulo 3.

No en todos los proyectos es preciso tener en cuenta toda la serie de factores ambientales. La consideración de unos u otros vendrá determinada por el tipo y magnitud del impacto ambiental que el proyecto pueda producir en una cierta localización o emplazamiento.

Los factores físicos e incluso los biofísicos son los más importantes en volumen y en la producción de efectos:

Los impactos económicos se van estimando con dificultad, pero cada vez son más ajustados.

El impacto social es difícil de cuantificar por ser muy escasos los instrumentos de análisis y medida, tanto en lo que concierne a los datos a consultar como al análisis final de resultados.

No obstante, hay una serie de hechos bastante claros en todos los casos. El mayor impacto social de un proyecto es el que corresponde a la alteración de los derechos individuales (por ejemplo, la expropiación de terrenos). El mayor impacto económico en un proyecto es el efecto sobre el coste del programa de control de impactos y el coste de las medidas correctoras oportunas. La reacción política dependerá de la forma en que queden afectados los derechos individuales y de los costes preventivos.

En general, el conflicto se plantea porque hay un enfrentamiento entre los derechos individuales y los derechos de la colectividad. Es evidente, además, que en las áreas rurales o semirurales se agudiza el problema de los derechos individuales.

Los impactos socioeconómicos suelen presentarse en temas relacionados con los usos del territorio (agrícola, industrial, etc.). Muchos proyectos de desarrollo provocan conflictos en la comunidad agrosocial, no sólo por la ocupación de un terreno (o sea impacto primario), sino porque ello acarrea otros impactos secundarios: construcción de carreteras, escuelas, centros comerciales, servicios de la administración, etc., que también efectúan una conversión de terrenos y originan una alteración de los sistemas de vida.

Un aspecto importante es la falta de información al público sobre el proyecto (a veces con tecnologías y aspectos complejos) por parte de la Administración, ya que en general el lenguaje de los técnicos es muy vago, o por lo menos, poco claro y a veces muy «sofisticado», lo que provoca gran descontento.

Es preciso actuar en mayor medida en la tarea de información y desde luego en las de educación y concienciación ciudadana en temas ambientales.

### **ACCIONES, PROGRAMAS Y PROYECTOS QUE REQUIEREN UNA EVALUACION DE IMPACTO AMBIENTAL**

¿Cuáles son las acciones o los proyectos, de gran amplitud y significación, que pueden alterar o simplemente afectar la calidad del medio ambiente humano y que requieren una evaluación de impacto ambiental?

No hay pautas concretas que permitan responder a esta pregunta, puesto que el impacto global depende de varios factores. En general, se trata de acciones o proyectos grandes, aunque el impacto ambiental tiene di-

versas componentes. Los factores más significativos son tres y podemos partir de ellos a fin de establecer unos primeros criterios de selección para realizar tal evaluación:

- a) Impacto físico (cualitativo y cuantitativo).
- b) Extensión de la zona de influencia de la acción o el proyecto.
- c) Utilización de recursos naturales.

Para dar una idea del tipo de acciones o proyectos en los que la necesidad de efectuar previamente una evaluación de impactos ambientales está bastante clara, se reseñan en la TABLA I algunos de ellos, a título indicativo y sin que la relación pretenda ser exhaustiva.

TABLA I

#### **Acciones, programas y proyectos que deberían evaluarse previamente a su ejecución para determinar su incidencia en el medio ambiente\***

##### *Acciones*

- Elaboración y puesta en marcha de grandes planes de repoblación forestal.
- Elaboración y puesta en marcha de un plan energético nacional.
- Elaboración y promulgación de leyes en materia de protección ambiental.
- Imposición de medidas correctoras (equipos de depuración, utilización de combustibles limpios, reciclado de materiales, etc.) a determinadas industrias, según el sector, la localización, el volumen de producción y la tecnología utilizada.

\* ESTEVAN, M. T. «Tratado sobre el Medio Natural», Universidad Politécnica de Madrid, Madrid 1981, modificado por la autora.

TABLA I (continuación)

- Implantación de determinadas industrias (papeleras, siderurgia, metalurgia no ferrosa, etc.) en ciertas zonas en virtud de la utilización de recursos naturales.
- Proyectos globales de desarrollo regional.
- Grandes planes de puesta en regadío de terrenos y, en general, los programas nacionales y regionales de planificación económica.

*Proyectos de desarrollo urbano, planes territoriales y de gestión de recursos naturales*

- Localización de nuevas ciudades.
- Extensión de áreas urbanas.
- Trazado de ferrocarriles.
- Trazado de autopistas, autovías y carreteras.
- Trazado de líneas eléctricas de alta tensión.
- Trazado de oleoductos y gasoductos.
- Aeropuertos.
- Áreas de montaña.
- Grandes complejos turísticos.
- Parques nacionales y zonas recreativas.
- Proyectos de trasvases de recursos de agua.

*Proyectos de desarrollo agrario*

- Embalses de usos múltiples.
- Nuevos regadíos.
- Desarrollo ganadero de una zona.
- Desarrollo agrícola de una zona.
- Repoblación forestal.

TABLA I (continuación)

*Actividades agrícolas y agroindustriales*

- Establos para más de 100 cabezas de ganado bovino.
- Granjas para más de 1.000 cerdos ó 10.000 aves.
- Mataderos y talleres de descuartizamiento de animales.
- Tratamientos de cuerpos, materias y despojos de animales en estado fresco con vistas a la extracción de cuerpos grasos.
- Estercoleros.
- Fabricación de piensos y procesado de cereales en grano.
- Secado de piensos en verde en instalaciones industriales.

*Proyectos de desarrollo industrial*

Este es el capítulo mayor. Las evaluaciones de impacto ambiental son necesarias especialmente cuando se trata de industrias básicas, puesto que son las que producen un mayor impacto socioeconómico por su magnitud y por la gran utilización de recursos naturales. Por otra parte, como la industria básica es la que verdaderamente contamina, es preciso cuidar su impacto físico.

Entre estas industrias cabe citar las siguientes, que se indican agrupadas en sectores productivos:

*Industria alimentaria*

- Cervecerías y malterías.
- Azucareras.
- Conservas vegetales.
- Conservas cárnicas.
- Producción de harina de pescado y extracción y tratamiento del aceite de pescado.
- Industrias lácteas.

*Industrias de la madera y corcho*

*Industrias de la piel, cuero y calzado*

TABLA I (continuación)

*Industria del café, cacao y tabaco**Industria de la energía*

- Centrales térmicas convencionales (que utilizan carbón y fuel-oil).
- Centrales térmicas nucleares.
- Fábricas de gas manufacturado.
- Destilación en seco de carbones y maderas.
- Refinerías de petróleo.
- Extracción de petróleo.
- Centrales hidroeléctricas (Incidencia del embalse en el entorno).
- Instalaciones para la eliminación de residuos radiactivos.

*Minería*

Tostación, calcinación, aglomeración y sinterización de minerales.

*Siderurgia y fundición*

- Siderurgia integral.
- Aglomeración de minerales.
- Parque de minerales.
- Producción de arrabio en hornos altos.
- Baterías de coque en las plantas siderúrgicas y fundiciones.
- Acerías de oxígeno (incluidos los procesos LD, LDAC, KALDO y similares).
- Fabricación y afinado de acero en convertidor con inyección de aire, con o sin oxígeno, incluidos los convertidores Besemer.
- Acerías Martín.
- Fabricación de acero en hornos de arco eléctrico.

*Metalurgia no férrea*

- Producción de aluminio.

TABLA I (continuación)

- Producción de plomo en horno de cuba.
- Refino de plomo.
- Producción de plomo de segunda fusión (recuperación de la chatarra de plomo).
- Producción de zinc por reducción de minerales y por destilación.
- Producción de cobre bruto o negro en horno de cuba, horno de reverbero u horno rotativo.
- Producción de cobre en el convertidor.
- Producción de cobre en horno de ánodos.
- Producción de antimonio, cadmio, cromo, magnesio, manganeso, estaño y mercurio.
- Producción de metales y aleaciones por electrolisis.

*Industrias químicas y conexas*

- Abonos: producción de fertilizantes orgánicos e inorgánicos.

*Industria inorgánica de base e intermedia*

- Fabricación de gases para síntesis química.
- Producción de halógenos y sus hidrácidos.
- Producción de fluoruros.
- Producción de cloruros, oxiclорuros y sulfuros de carbono, azufre y fósforo.
- Producción de azufre y sus ácidos y tratamiento de sulfuros minerales.
- Producción de ácidos nítrico y fosfórico.
- Producción de fósforo.
- Producción de arsénico y sus compuestos.
- Producción y utilización de ácido cianhídrico, sus sales y derivados.
- Producción de carburos metálicos.

TABLA I (continuación)

*Industria orgánica de base e intermedia*

- Producción de hidrocarburos alifáticos.
- Producción de hidrocarburos aromáticos.
- Producción de derivados orgánicos de azufre, cloro, plomo y mercurio.
- Producción de acrilonitrilo.
- Producción de coque de petróleo.
- Producción de betún, brea y asfalto de petróleo.
- Fabricación de grafito artificial para electrodos.

*Pigmentos*

- Producción de negro de humo.
- Producción de bióxido de titanio.
- Producción de óxido de zinc.

*Pastas de papel y papel*

- Fabricación de celulosa y pastas de papel.

*Transformados metálicos*

- Construcción y montaje de vehículos automóviles.
- Construcción de material ferroviario.
- Construcción naval y reparación de buques.

*Industria textil*

- Ramo del agua.

*Industrias de materiales para la construcción*

- Fabricación de clinker y de cemento.
- Fabricación de cal y yeso.
- Calcinación de la dolomita.

TABLA I (continuación)

- Fabricación de lana de roca y otras lanas minerales.
- Fabricación de aglomerados asfálticos.

*Industrias fabriles y actividades diversas*

- Plantas depuradoras de aguas residuales mayores de 10.000 habitantes equivalente.
- Emisarios submarinos.
- Plantas de recuperación de metales por combustión de desperdicios.
- Incineración de residuos industriales.
- Incineración de residuos sólidos urbanos.
- Vertederos de basuras.
- Plantas de tratamiento de residuos urbanos.
- Plantas de compostaje.
- Plantas de galvanizado y tratamiento de superficies.
- Almacenamiento y manipulación de minerales y materiales pulverulentos a granel y a la intemperie en zonas portuarias.

En la TABLA II figuran las acciones y proyectos que deben ser evaluados ambientalmente en la C.E.E.

En la TABLA III se indican también las actividades sometidas a evaluación del Impacto Ambiental en Francia y en la TABLA IV figuran las actividades sectorializadas que en México se consideró que causan impacto ambiental.

TABLA II

**Acciones y proyectos que deben ser evaluados en la  
Comunidad Económica Europea (C.E.E.)**

1. ACTIVIDADES DE EXTRACCION DE MINERALES  
ENERGETICOS, METALIFEROS Y NO METALIFEROS

TABLA II (continuación)

2. *TRATAMIENTO DE MINERALES*3. *ACTIVIDADES MANUFACTURERAS*3.1. *Tratamiento de combustibles*

- Coquerías.
- Gasificación del carbón.
- Refino de petróleo.
- Destilación de esquistos bituminosos.
- Enriquecimiento de uranio.
- Producción, transformación y reprocesado de materias fisibles y fértiles, incluidas las instalaciones de investigación.
- Producción de energía eléctrica, de gas, de vapor y de agua caliente en instalaciones de combustión de más de 10 MW.

3.2. *Industria metalúrgica*

- Plantas siderúrgicas integrales (incluyendo la aglomeración de minerales, baterías de coque, altos hornos, la producción, la fundición y la laminación del acero).
- Hornos eléctricos por arco dotados de equipos de recuperación del polvo.
- Plantas de reducción directa.
- Plantas de tostación de piritas.
- Plantas destinadas a la producción primaria de metales no férricos y de productos secundarios, como cobre, plomo, zinc, estaño, cadmio, níquel, oro, plata, mercurio, magnesio, aluminio, berilio, titanio, uranio, selenio, vanadio.

3.3. *Transformación de metales*

- Construcción naval, reparación y mantenimiento de buques.

TABLA II (continuación)

- Construcción de material ferroviario móvil.
- Construcción y reparación de aeronaves.
- Construcción y montaje de vehículos automóviles (incluidos los tractores) y construcción de motores para los mismos.

3.4. *Fabricación de productos minerales no metálicos*

- Fabricación de cemento y de clinker.
- Fabricación de fibra de vidrio, lana de vidrio y lana de silicato (lana mineral).
- Fabricación de amianto-cemento.
- Fabricación de cales, yesos y derivados del yeso.

3.5. *Industria química*

Plantas destinadas a la fabricación y tratamiento de los compuestos y productos químicos siguientes:

- Ácido sulfúrico, incluidos los compuestos de azufre inorgánico líquido y gaseoso.
- Amoníaco.
- Dióxido de titanio.
- Bromuro.
- Cloro.
- Iodo y sus compuestos.
- Fluor.
- Ácido fluorhídrico.
- Hidrocarburos halogenados.
- Pesticidas, incluidos los agentes preservadores de la madera.
- Pinturas y barnices, tintas de imprenta, colas y productos conexos.
- Aditivos orgánicos usados como propelentes (clorofluorometanos).
- Bifenilos policlorados —PCB

TABLA II (continuación)

- Lubricantes.
- Etileno.
- Propileno.
- Benceno.
- Fenoles.
- Glicerina.
- Acetona.
- Caucho y otros elastómeros.

Instalaciones de comercio al por mayor de productos químicos, aceites y grasas industriales de origen vegetal o animal.

### 3.6. Industria alimentaria e industrias de bebidas

- Mataderos.
- Conservas.
- Fabricación de féculas y almidones.
- Fábricas de azúcar (producción y refinado de azúcar).
- Plantas de harinas de pescado.
- Cerveceras.

### 3.7. Industria textil e industria del cuero

- Tenerías.
- Lavado de lana.
- Tintes y aprestos.

### 3.8. Industrias de muebles de madera, del papel y artes gráficas.

- Plantas de pasta de papel, papel y cartón.
- Celulosa.
- Papeles especiales de amianto y pergamino.

TABLA II (continuación)

## 4. PROYECTOS AGRICOLAS

- Grandes unidades de ganadería intensiva.
- Grandes proyectos de drenaje.
- Grandes proyectos de regadío.
- Grandes proyectos de explotación de zonas naturales (bosques, eriales, praderas, zonas húmedas).

## 5. ALMACENAMIENTO Y TRATAMIENTO DE DESECHOS

- Plantas de incineración de residuos urbanos, incluidos los restos animales y los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales.
- Depósitos de lodos y escorias.
- Instalaciones de eliminación de pieles de animales.
- Plantas de tratamiento de aguas residuales, de una capacidad superior a 100.000 habitantes-equivalente.
- Instalaciones para la eliminación de residuos radiactivos.
- Instalaciones de limpieza de tanques.
- Plantas de reciclado y eliminación de residuos químicos heterogéneos.

## 6. INFRAESTRUCTURAS PARA EL TRANSPORTE Y OTROS SECTORES

- Construcción de aeropuertos y aeródromos.
- Construcción de carreteras principales y autopistas.
- Construcción de puertos.
- Construcción de vías férreas.
- Proyectos de circuitos de gran velocidad.
- Grandes infraestructuras urbanas.
- Embalses y presas.

TABLA II (continuación)

- Canales y regulación de caudales de agua.
- Proyectos de trasvases de recursos de agua.
- Líneas de distribución de energía eléctrica de más de 225 KV.
- Circuitos permanentes de carreras de automóviles y motocicletas.

TABLA III

**Lista de trabajos, obras y actuaciones sometidos a estudio de impacto ambiental en Francia**

Sea el que fuere su coste financiero quedan sometidos a estudio de impacto los trabajos, obras y actuaciones mencionados en la siguiente lista limitativa.

**A) Por razón de su naturaleza (sin límite técnico)**

- Trabajos de explotación de minas.
- Acondicionamiento de almacenes subterráneos de gas, hidrocarburos o productos químicos.
- Instalaciones clasificadas sometidas a autorización e instalaciones nucleares básicas.
- Depósitos de almacenamiento de aguas no subterráneas.
- Elaboración de un expediente de realización si no se modifica el Plan de Ocupación del Suelo (POS).
- Modificación de la clasificación en el Plan de Ocupación del Suelo (POS) de zona forestal (urbanización sobre el 10 por 100 del bosque).
- Roturaciones que tengan como objeto operaciones de urbanización o de implantación industrial, así como de las que tengan como objeto la explotación de productos minerales.
- Concentraciones parcelarias.

TABLA III (continuación)

**B) Por razón de ser iguales o superiores a los límites técnicos que seguidamente se mencionan:**

- Líneas aéreas de transporte de energía eléctrica ... 225 KV
- Obras de producción hidráulica ..... 500 KW
- Apertura de terrenos de camping o de aparcamiento de caravanas (plazas) ..... 200
- Estaciones de depuración (equivalente en habitantes) ..... 10.000
- Construcciones sometidas a la licencia de construcción en los municipios que no tienen un Plan de Ocupación del Suelo (POS) hecho público o aprobado ..... 3.000 m<sup>2</sup>
- Las parcelaciones en los municipios que no tienen un Plan de Ocupación del suelo (POS) hecho público o aprobado ..... 3.000 m<sup>2</sup>

**C) Igualmente están sometidos a estudios de impacto los trabajos, obras y actuaciones no mencionados en la lista anterior, cuyo costo financiero sea igual o superior a 6 MF (millones de francos) — con exclusión de los trabajos que se citarán a continuación en D—, es decir, principalmente los:**

- Aeropuertos.
- Carreteras y autopistas.
- Ferrocarriles.
- Aerotrenes.
- Centrales térmicas.
- Gasoductos.
- Oleoductos.
- Instalaciones de transporte de productos químicos.

TABLA III (continuación)

- Conducciones de agua-trasvases de cuencas fluviales.
- Puertos marítimos y fluviales.
- Canales y trabajos sobre las vías de agua patrimoniales.
- Concesión de servicios públicos en los puertos marítimos y sobre el patrimonio público fluvial.
- Instalaciones de remonte mecánico y pistas de esquí.

**D) Sea cualquiera su coste financiero quedan dispensados de estudio de impacto:**

Todos los trabajos de mantenimiento y grandes reparaciones así como los contenidos en los anexos 1 y 2 del artículo 3 del decreto 12-X-77, tales como:

- Los trabajos de instalación de redes de distribución (agua, gas, electricidad, teléfono).
- Las construcciones y las parcelaciones en los ayuntamientos dotados de un Plan de Ocupación de Suelos (POS).
- Las roturaciones con fines agrícolas.
- Los trabajos de investigación de minas y canteras sometidas a autorización (sondeos, etc.).
- Los trabajos e instalaciones clasificadas como de pequeña importancia (sometidas a simple declaración).
- Los depósitos de almacenamiento de agua no aéreos.

**LISTA DE TRABAJOS, OBRAS Y ACTUACIONES SOMETIDOS AL TRAMITE SIMPLIFICADO: INFORME DE IMPACTO EN FRANCIA**

El procedimiento simplificado concierne a:

- Líneas de transporte eléctrico de tensión inferior a 225 KV
- Las centrales de producción de energía hidráulica con una potencia inferior a 500 KW.

TABLA III (continuación)

- Los trabajos de investigación de minas y canteras sometidas a autorización.
- Las aperturas de camping o aparcamiento de caravanas de menos de 200 plazas.
- Las instalaciones de remonte mecánico y los trabajos de acondicionamiento de pistas con un costo inferior a 6 MF (millones de francos).
- Los trabajos y equipamientos que se refieren a:
  - La corrección de torrentes.
  - La restauración de terrenos de montaña.
  - La lucha contra las avalanchas.
  - La fijación de dunas.
  - La defensa contra incendios.
- Los trabajos de roturación (excepto las roturaciones que tengan por objeto operaciones de urbanismo o de implantación industrial, así como los que tienen por objeto la explotación de productos minerales en yacimientos reconocidos en los Planes de Ocupación del Suelo).
- Estaciones de depuración de aguas de las colectividades locales con una capacidad de tratamiento inferior al flujo de materias contaminantes equivalentes a 10.000 habitantes.
- Los trabajos o actuaciones de un coste total inferior a 6 MF (millones de francos) sobre patrimonio público marítimo o fluvial en régimen de concesión: trabajos de construcción o de extensión de puertos deportivos.

TABLA IV

**Actividades sectorializadas que causan impacto ambiental en México**

<i>Sector industrial</i>	
— Petróleo	— Curtiduría
— Minería	— Minerales no ferrosos
— Química	— Pulpa y papel
— Alimentos	— Termoeléctrica, generación y distribución de energía
— Cementeras y afines	— Metal mecánico
— Azucareras	— Manejo de desechos sólidos industriales
— Textil	— Combustión
— Siderúrgica	
<i>Sector asentamientos humanos</i>	
— Desarrollo urbano	— Obras hidráulicas
— Instalaciones portuarias, vías terrestres, vías férreas, aeropuertos	— Tratamiento de aguas
	— Manejo y disposición de desechos sólidos urbanos.
<i>Sector comunicación y transporte</i>	
— Autovehículos	— Barcos
— Aviones	— Ferrocarriles
<i>Sector agropecuario y forestal</i>	
— Agricultura	— Obras hidráulicas
— Ganadería	— Tratamiento de aguas
— Pesca	
<i>Sector administración y defensa</i>	
— Construcciones	— Industria militar

## Criterios y bases para la E.I.A.

La evaluación se efectúa con unos procedimientos y métodos que pueden descomponerse en las tres fases o funciones siguientes:

- Identificación y estimación de impactos.
- Generación de estrategias.
- Evaluación de variables.

Para cada una de estas fases existen diversas técnicas o instrumentos disponibles, especialmente para la primera fase, ya que es fundamental realizar el análisis de la situación de referencia de la forma más completa posible, teniendo en cuenta la situación del medio y sus tendencias de evolución en caso de no llevarse a cabo el proyecto, así como la evaluación del proyecto y su impacto ambiental destacando las variables móviles, es decir, aquellos factores sobre los que se puede actuar y las decisiones que todavía no están tomadas.

### IDENTIFICACION Y ESTIMACION DE IMPACTOS

La identificación de los impactos se efectúa mediante un análisis del medio y del proyecto y es el resultado de la consideración de las interacciones posibles. Esta fase del estudio comprende las siguientes etapas:

- La percepción de los principales impactos, ya sean directos o indirectos, primarios o secundarios, a corto o a largo plazo, acumulativos, de corta duración, reversibles o irreversibles.
- Su estimación o valoración, si puede ser cuantitativa y si no, al menos, cualitativa.
- Su relación con los procesos dinámicos, que permita prever su evolución y determinar los medios de control y de corrección.

El primer paso en la identificación de los impactos, es establecer la relación de los factores ambientales.

### Factores ambientales

Se pueden definir como factores ambientales, con relación a un proyecto, las consecuencias ambientales de la puesta en marcha del proyecto ya sea en sus fases de construcción, de operación o a largo plazo. Hay que considerar los agentes y los receptores del impacto ambiental.

Puede haber muchas clasificaciones, pero en resumen pueden considerarse los factores que a continuación se indican, siguiendo la clasificación correspondiente a la consideración de los dos grandes componentes del concepto «medio ambiente»: medio natural y medio sociocultural. El primero está constituido por cuatro sistemas interrelacionados: la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera. Estos sistemas son dinámicos y en ellos influye notablemente la acción del hombre. El medio social comprende los grupos humanos; las relaciones de producción; las infraestructuras materiales construidas por el hombre y los sistemas institucionales creados por el mismo.

De este modo se dividen los factores ambientales en dos grandes grupos: factores geobiofísicos, correspondientes al impacto sobre el medio natural y factores socioeconómicos, referentes al medio social.

### A. FACTORES CORRESPONDIENTES AL IMPACTO GEOBIOFISICO

Los factores que afectan más al medio natural se han clasificado en siete subgrupos, que son los siguientes:

### A.1. Contaminación atmosférica

Contaminación y características de la atmósfera:

- Partículas sólidas.
- Gases.
- Vapores.
- Humos.
- Aerosoles.
- Sustancias malolientes.
- Calidad.
- Alteración de microclima.

### A.2. Contaminación de las aguas

Características y contaminantes de las aguas continentales, superficiales y subterráneas y marítimas.

Factores que afectan a la cantidad:

- Caudal.
- Variaciones de flujo.

Factores que afectan a la calidad:

### FÍSICOS

- Temperatura.
- Turbidez.
- Densidad.
- Sólidos disueltos y en suspensión.
- Caracteres organolépticos (color, olor, sabor).

### QUÍMICOS INORGÁNICOS

- Oxígeno.
- pH (hidrógeno).
- Nitrógeno.
- Fósforo.

- Metales alcalinotérreos.
- Azufre.
- Halógenos.
- Carbono inorgánico.
- Sílice.
- Metales pesados.

#### QUÍMICOS ORGÁNICOS

- Biodegradables: hidratos de carbono, grasas y proteínas.
- No-biodegradables: pesticidas, algunos detergentes, hidrocarburos y productos petroquímicos persistentes.

#### BIOLOGICOS

- Organismos patógenos.
- Organismos eutrofizantes.
- D.B.O.

Otros.

#### A.3. Suelo

- Precipitación.
- Deposición.
- Sedimentación.
- Contaminación por residuos sólidos, líquidos o gaseosos.
- Alteración de la cubierta vegetal.

Otros.

#### A.4. Sustancias radiactivas.

#### A.5. Ruido.

#### A.6. Recursos naturales

- Vegetación natural. Flora.

- Explotación forestal.
- Usos agrícolas del suelo.
- Usos ganaderos del suelo.
- Recursos mineros.
- Espacios destinados a usos recreativos. Paisaje.
- Medio marino. Recursos pesqueros.

#### A.7. Factores biológicos

- Fauna. Inventario de biotopos y biocenosis y correlación de los mismos.
- Fauna. Inventario de especies características.
- Flora. Inventario de especies características y vegetación natural.
- Especies en peligro.
- Diversidad de especies.
- Estabilidad del ecosistema.

### B. FACTORES CORRESPONDIENTES AL IMPACTO SOCIOECONOMICO

#### B.1. Territorio

- Uso inadecuado del territorio y de los recursos naturales.
- Cambios y modificaciones en el uso del territorio.
- Sustracción del territorio y/o de los recursos naturales para otras alternativas de uso.
- Expropiaciones de terrenos.

#### B.2. Alteración del paisaje

- Destrucción o alteración del paisaje.
- Destrucción de sistemas naturales.

#### B.3. Aspectos humanos y socioculturales

- Patrones culturales.

- Destrucción o alteración de la calidad de vida existente en cuanto a consideración de aspectos culturales, históricos, etc.
- Molestias debidas a congestión urbana y de tráfico.
- Alteración de los sistemas o estilos de vida.
- Tendencia de la variación de la población. Demografía.
- Lugares histórico-artísticos que pueden quedar afectados.

#### B.4. Aspectos económicos

- Estabilidad económica regional.
- Ingresos y gastos para el sector público.
- Consumos e ingresos per cápita.
- Empleos o trabajo que pueden generarse en la zona durante la construcción del proyecto.
- Empleos fijos que pueden generarse en la zona durante el funcionamiento del proyecto.
- Incrementos económicos de actividades comerciales, servicios, etcétera, durante la construcción y, después, durante el funcionamiento del proyecto.
- Vivienda.
- Infraestructura viaria.
- Infraestructura sanitaria.
- Servicios comunitarios y equipamiento urbano.
- Otros.

Como ya se ha indicado, los factores físicos e incluso los biofísicos son los más importantes en volumen y en la producción de efectos; suelen ser además efectos directos, que dan lugar a impactos «primarios» o «directos». Son los más sencillos de determinar. En cambio, hasta hace poco tiempo, los aspectos sociales, económicos y políticos de una acción o proyecto sólo se ha considerado secundariamente, y como fruto de efectos inducidos. Por eso se les ha llamado «impactos secundarios» o «indirectos».

### Estudio y determinación de los factores ambientales

Es evidente que en un análisis de impacto no se han de considerar todos los factores ambientales citados, pero sí es muy útil tener unas amplias y largas listas de factores ambientales para utilizarlas como listas de chequeo, listas de referencia, en la identificación de impactos y de ahí seleccionar los implicados en la acción o proyecto analizado.

Una vez identificados los factores ambientales afectados es preciso estudiar cada uno de ellos, algunos en profundidad y otros más superficialmente.

La metodología a seguir para el estudio y determinación de los factores ambientales individualmente puede ser la siguiente:

1. Definición del factor ambiental y de su contexto.
2. Actividades que afectan a este factor (por ejemplo, focos emisores si se trata de un contaminante o actividades económicas en el entorno).
3. Efectos generales de este factor sobre el medio (efectos directos y efectos sinérgicos).
4. Variable a medir o determinar.
5. Método para medir las variables (fuente de datos, método analítico, instrumentación, formación profesional requerida para la medición).
6. Interpretación de los datos. Valores o sistemas de referencia.
7. Evaluación del resultado.
8. Determinación de los impactos o efectos directos (impactos primarios).
9. Determinación de los efectos inducidos (impactos secundarios) o indirectos.
10. Reducción del impacto. Medidas correctivas.
11. Consideración de los impactos residuales, si procede.

Los factores ambientales permiten confeccionar el inventario ambiental.

### Inventario ambiental

El inventario ambiental es una completa descripción del Medio Ambiente que existe y cómo existe (en qué estado) en un área determinada, en la que se piensa localizar una acción o proyecto. Se puede realizar con cualquier método de identificación, especialmente listas de chequeo, matrices o diagramas de flujo.

Se suelen considerar los siguientes elementos:

- Medio ambiente físico.
- Medio ambiente biológico.
- Medio ambiente socioeconómico y cultural, o sea el medio antrópico. Si es posible, deben incluirse indicadores de bienestar humano (o si se tienen de calidad de vida).

El inventario ambiental sirve de base para la evaluación preliminar de los impactos potenciales. O sea, es el primer paso del estudio de E.I.A.

### Indicadores de impacto ambiental

Llamamos indicadores de impacto ambiental a los elementos o parámetros que proporcionan la medida de la magnitud del impacto, al menos en su aspecto cualitativo y también, si es posible, en el cuantitativo.

Algunos indicadores (por ejemplo, los datos estadísticos de morbilidad o mortalidad o los de productividad o rentabilidad), pueden indicarse numéricamente. Otros emplean conceptos de valoración como, «muy malo», «malo», «regular», «bueno», «muy bueno», «excelente», o bien simplemente, «aceptable», «no aceptable» o «rechazable», «reversible» o «irreversible».

Determinados parámetros se transforman en elementos que estiman la calidad ambiental, mediante el empleo de una función de valores que relaciona los diversos niveles de los parámetros estimados con los correspondientes valores de calidad ambiental. En un buen sistema de evaluación es preciso disponer, si no para todos los factores ambientales considerados, sí al menos para el adoptado como Indicador del Impacto, de una función de valores asociada a ese parámetro, suficientemente definida como para establecer la correspondiente calidad ambiental.

La adopción de unos indicadores de impacto y su selección es un punto fundamental de estos trabajos de evaluación.

Los indicadores de impacto más sencillos de utilizar y más correctos son las normas o estándares de calidad del aire, del agua, del ruido, etc., especialmente cuando están aprobados por una legislación. La elaboración de la evaluación de impacto de una instalación industrial se simplifica mucho si existen unas leyes o unas normas aplicadas nacional o internacionalmente como niveles de emisión para distintos contaminantes (aire, agua, ruidos) y unos niveles de calidad (inmisión) del aire, del agua, del ruido, etc.

Otros indicadores de impacto son los que determinan las tasas de productividad medidas a nivel del ecosistema o espacio considerado. Se trata de detectar los cambios debidos al proyecto en las especies y poblaciones, por ejemplo.

En algunos casos el indicador de impacto refleja el cambio en el número de especies, a través del análisis de la capacidad de la tierra para soportar las poblaciones. En estos factores, para utilizar el valor de la función que nos puede señalar una alteración de la calidad ambiental, es necesario determinar la capacidad final de la tierra, con y sin el proyecto. Se suele operar con indicadores como los siguientes:

- Explotación forestal. Rentabilidad.
- Usos agrícolas del suelo. Rentabilidad agraria.
- Usos ganaderos del suelo. Rentabilidad ganadera.
- Usos recreativos. Paisaje.

Otros ejemplos de indicadores es, en el caso de aves de caza, el empleo de datos sobre densidad y área utilizada. Se relaciona, mediante una función lineal, el área del hábitat con la obtención anual de aves capturadas, en peso, y permite establecer la producción o cosecha sin y con el proyecto en función del área afectada y tipo de impacto.

Una vez que se han establecido los indicadores de impacto, sus escalas y dimensiones, o unidades de medida, deben calcularse sus valores para cada proyecto (en cada alternativa) y en distintos periodos de tiempo, si es posible a corto, medio y largo plazo.

Otro punto difícil en estos trabajos —quizás el más difícil de todo el estudio—, es asignar un determinado peso o importancia a los indicadores de impacto, o sea su ponderación.

Puesto que los indicadores de impacto son el punto más delicado del proceso de evaluación, se indican ampliamente en los capítulos 6, 7 y 8 las bases del análisis respecto a los indicadores de calidad ambiental.

## GENERACION DE ESTRATEGIAS

Una vez estudiado el medio en que va a ubicarse el proyecto o acción y las características y posibles efectos ambientales de dicho proyecto, puede plasmarse un escenario o varias situaciones según las posibles evoluciones del proyecto y su entorno en el contexto socioeconómico correspondiente y proceder a simular las diferentes decisiones que quedan por tomar.

De este modo se van definiendo *alternativas* y *variantes*. Una alternativa puede tener diversas variantes. Sucesivamente se van generando las estrategias resultantes y las posibilidades de actuación.

La primera estrategia consiste en valorar la opción de «no hacer nada», es decir, el estudio del medio en la situación actual, *sin* el proyecto. A esta alternativa se la llama situación cero o fase preoperacional.

Otras alternativas consideran diferentes localizaciones del proyecto, capacidades y una gama de posibles medidas correctivas a utilizar, en función del potencial impacto ambiental.

Los instrumentos más utilizados en la generación de estrategias, son:

- Análisis de las tendencias.
- Método de los escenarios.
- Método DELPHI.
- Análisis morfológico.
- Sistemas de red y grafos.

## EVALUACION DE VARIABLES

La evaluación de variables es uno de los aspectos clave de las E.I.A. Toda decisión debe integrar puntos de vista diferentes y a veces contradictorios y debe ser árbitro entre los representantes de ambas opiniones. Una primera fórmula para acotar el campo de decisión consiste en comparar cada uno de los impactos previstos con las normas representativas de situaciones críticas y eliminar las soluciones que no se ajusten, al menos, a una de dichas normas. A este sistema se le denomina aproximación mul-

ticriterio no agregada. Si se utiliza este sistema, sin concertación previa, no se puede decidir sino únicamente plantear las soluciones válidas entre las que se puede escoger. Por tanto, hay que establecer relaciones entre los puntos de vista considerados y los criterios correspondientes, lo que suele efectuarse ponderando los criterios. Este es el principio de la aproximación multicriterio agregada.

Según los criterios de agregación las técnicas de evaluación de variables se pueden clasificar del siguiente modo:

- a) Proceso unicriterio agregado: análisis coste-beneficio.
- b) Proceso multicriterio desagregado: análisis coste-eficacia.
- c) Proceso multicriterio agregado con ponderación de criterios.
- d) Proceso multicriterio agregado sin ponderación explícita.

Para evaluar las variables es preciso tener en cuenta que en la evaluación de efectos sobre el entorno y realización del inventario ambiental deben intervenir numerosas disciplinas y expertos. Entre ellas figuran las siguientes:

- |                |                                 |
|----------------|---------------------------------|
| — Biología     | — Termodinámica                 |
| — Zoología     | — Mecánica de fluidos           |
| — Ecología     | — Química                       |
| — Geología     | — Física                        |
| — Climatología | — Economía                      |
| — Hidrología   | — Sociología                    |
| — Topografía   | — Derecho                       |
| — Edafología   | — Ingeniería de diversos campos |

Por otra parte hay que considerar que este trabajo no consiste en una simple yuxtaposición de los diversos estudios sectoriales del ambiente, sino que se requiere una aproximación interdisciplinar (y no sólo pluridisciplinar).

En la valoración del grado de importancia de un impacto dado se pueden seguir los siguientes criterios:

- Determinar la importancia relativa de un impacto, expresándolo en términos de amplitud y duración.
- Verificar si el proyecto es coherente con los objetivos de desarrollo nacionales y locales, de acuerdo con los planes y programas establecidos.

- Verificar el grado de interés de la comunidad situada en el entorno.
- Comprobar que el proyecto no afecta a la utilización de los recursos ambientales únicos o raros.
- Definir los efectos sobre la salud y la seguridad.
- Precisar el grado de interferencia con las actividades humanas fundamentales que se desarrollan en la zona.
- Definir las normas que regularán la intervención conjunta de expertos y miembros de las administraciones públicas.

## Métodos y modelos para efectuar las evaluaciones de impacto ambiental

Se entiende por metodología un conjunto de reglas o normas y de procedimientos que rigen la realización de los estudios de impacto sobre el medio ambiente.

En las E.I.A. al hablar de metodologías se hace referencia muchas veces a las formas específicas de tramitación de estos estudios. Existen pues dos tipos de metodologías, la administrativa y la técnica.

La metodología administrativa se refiere a los procedimientos generales y a los marcos legales e institucionales; en esencia es el procedimiento administrativo, del que se trata en el capítulo 10.

La metodología técnica se refiere a los medios y mecanismos de evaluación de impactos ambientales específicos.

Las metodologías han de ser flexibles, aplicables en cualquier fase del proceso de planificación y desarrollo y han de revisarse constantemente, en función de los resultados obtenidos y de la experiencia adquirida. Deben ser adecuadas para poder efectuar un análisis integrado, global y sistemático e interdisciplinar del medio ambiente y de sus muchos componentes.

Al hablar de las metodologías que pueden seguirse en la realización de los estudios de impacto ambiental, hay que referirse a dos tipos de acciones o proyectos:

- a) Los que pueden producir pequeños impactos.
- b) Los que pueden provocar grandes impactos.

El que puedan producir pequeños o grandes impactos tampoco está relacionado con que se trate de grandes obras o de proyectos pequeños. Por ejemplo, en cuanto a impacto físico en la atmósfera, el correspondiente a una gran fábrica de automóviles es casi nulo y, en cambio, la componente socioeconómica puede ser muy importante y, en cierto modo, positiva o negativa.

Otros ejemplos son una pequeña empresa textil del ramo del agua, o una pequeña explotación ganadera; los efluentes líquidos de estas actividades, sin tratamiento previo, pueden causar gran alteración en el medio receptor. (Sería un impacto físico al medio líquido, pero con gran incidencia posterior para otros usos inmediatos del agua).

Los métodos para evaluar el impacto ambiental son muy diferentes en un caso u otro. La magnitud del impacto puede deducirse de un estudio general y breve del proyecto, en una evaluación preliminar que debe hacerse siempre, puesto que se opera por aproximaciones sucesivas.

Por otra parte, el estudio de los impactos ambientales puede efectuarse desde dos enfoques, el de la potencialidad y el de la vulnerabilidad del medio respecto a una determinada situación.

Si se adopta el enfoque de la vulnerabilidad, que es más defensivo, se debe estudiar el proyecto de base con precisión, a partir de criterios económicos y técnicos para identificar debidamente los impactos ambientales.

Después se examinan las alternativas a ese proyecto, evaluándolas con criterios técnico-económicos y ambientales. De este modo el proyecto objeto de estudio se enfoca con equilibrio entre estas dos series de criterios.

Este enfoque puede plasmarse en el siguiente esquema: (FIGURA 2).

Si se utiliza el enfoque de las potencialidades, que es más directo, en lugar de definir inicialmente el proyecto considerando sólo criterios técnicos y económicos (para después introducir los criterios ambientales, caso anterior), el proyecto se estudia globalmente con el fin de mejorar las potencialidades o aptitudes del medio.

Para ello se opera con dos tipos de mapas e información:

- a) Mapas que reflejan la aptitud del medio para recibir el nuevo proyecto o acción de desarrollo.
- b) Mapas que recogen la capacidad de acogida del suelo o del territorio a los diferentes usos.

Estos mapas no son realmente una cartografía que permita realizar una

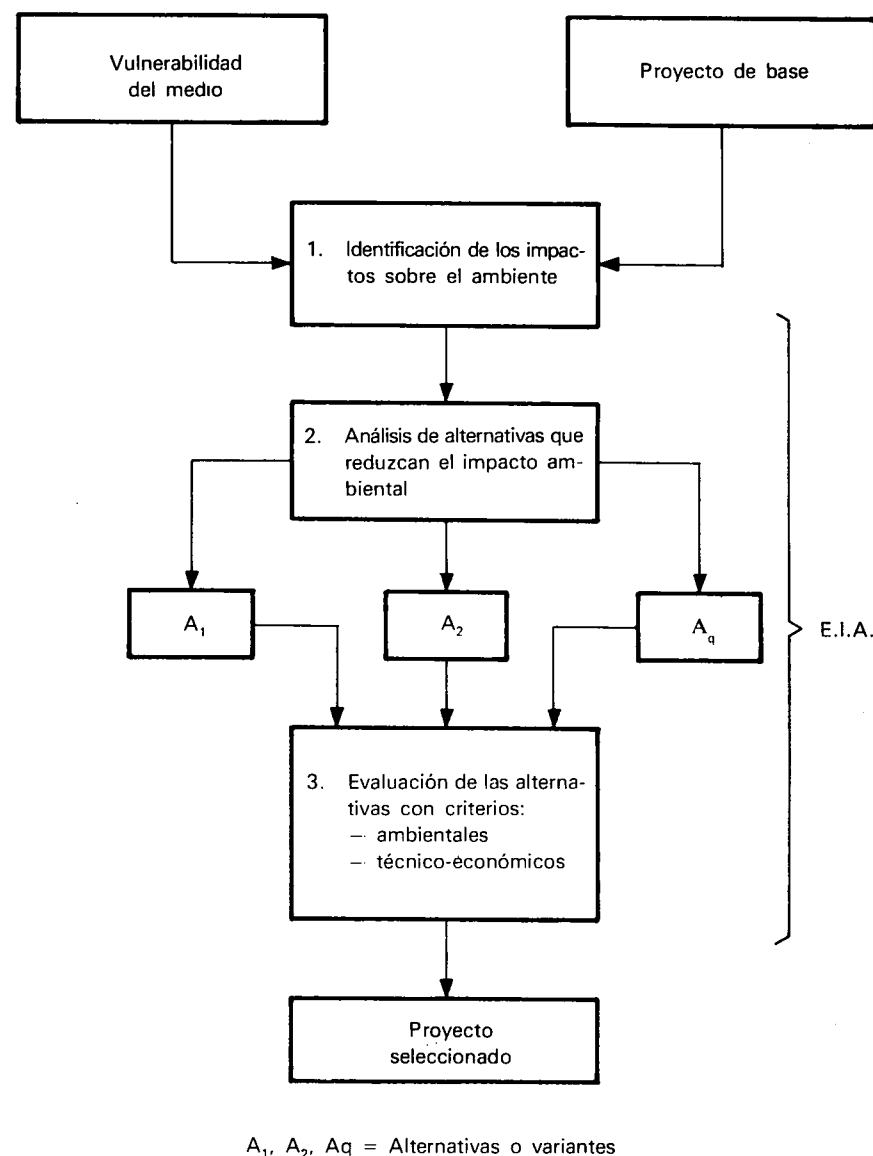


FIGURA 2.—Estudio de los impactos con el enfoque de la vulnerabilidad del medio.

auténtica planificación ecológica del territorio puesto que, entre otros aspectos, no recogen información sobre los factores socioeconómicos y culturales y además, en la calificación de las aptitudes del suelo o territorio intervienen muchos juicios de valor. Por consiguiente, es preciso utilizar técnicas de síntesis con criterios ecológicos, económicos y tecnológicos.

En conjunto, se trata de analizar un complejo sistema constituido, de una parte, por los sistemas ecológicos naturales y, de otra, por una serie de acciones tecnológicas del hombre. Para ello intentamos encontrar un modelo que nos represente o nos dé una idea real, aunque sea a escala reducida, del comportamiento del sistema.

Así pues, un modelo no es otra cosa que una representación física o matemática —o, en el mejor de los casos, físico-matemática—, que reproduce las características y condiciones de un ecosistema real de modo que —analizando esta información y las interacciones existentes— podamos llegar a la percepción del comportamiento de tal sistema.

Es evidente asimismo que los modelos matemáticos son un reflejo, expresado en ecuaciones y fórmulas matemáticas, de modelos intuitivos elementales de nuestra imagen del funcionamiento del universo y —lo mismo que las evaluaciones de impacto ambiental— tienen por objeto efectuar una predicción.

Los modelos pueden ser dinámicos o estáticos, según que la variable tiempo se introduzca o no en ellos en determinadas condiciones.

La primera fase de la construcción de un modelo matemático es la delimitación del sistema, o sea acotar el ecosistema en sentido espacial y también en el temporal: el llamado universo de análisis y la determinación de las unidades territoriales comprendidas o estudiadas por el modelo.

El segundo paso es determinar a groso modo la magnitud del impacto. La metodología será muy distinta, en cuanto al alcance y profundidad de la evaluación, si el impacto es grande o pequeño, amplio o reducido. Para ello se realiza un estudio preliminar sencillo, que nos dará en seguida una idea muy clara de aquella magnitud.

Recordemos que en las evaluaciones de impacto ambiental se opera por sucesivas aproximaciones, y ese estudio preliminar debe hacerse para todas las alternativas.

Las técnicas o métodos existentes para la evaluación del impacto ambiental varían mucho según el factor ambiental (denominado también atributo o elemento ambiental) que se considere. Por ejemplo, hay tecnologías muy adecuadas y probadas para la predicción de los impactos sobre la calidad del aire en cuanto a calcular las concentraciones de contaminan-

tes en la atmósfera, pero en cambio, los impactos en la flora y fauna de estas concentraciones de contaminantes, o sea, los efectos, no son tan fácilmente cuantificables. Por tanto es posible usar tecnologías probadas en algunos casos, mientras que en otros hay que basarse en el juicio de profesionales y expertos.

Las E.I.A. deben ser interdisciplinarias, sistemáticas, reproducibles y con un fuerte grado de organización y uniformidad.

Una E.I.A. debe considerar los sistemas más amplios posibles. Aunque cada parte debe ser estudiada por un especialista en esa materia, las interrelaciones entre las distintas partes debe ser lo más estrecha y constante posible.

Es necesario también revisar los índices ambientales de un sistema, para una puesta al día, especialmente lo referente a los conceptos de:

- Capacidad de producción.
- Capacidad de asimilación.
- Resiliencia.
- Estabilidad.
- Diversidad.

Por otra parte, hay que preparar directrices para especificar determinadas incertidumbres. Las incertidumbres en esta materia son muchas y ello es debido a varias causas, entre las que conviene resaltar las siguientes:

- Variabilidad estocástica de los fenómenos ambientales. Hay una serie de contingencias y sinergias difíciles de valorar.
- Conocimiento inadecuado o incompleto del comportamiento de los componentes del medio.
- Falta de datos base e información de la zona o problema a evaluar, lo que obliga a trabajar con grandes lagunas.

Estos riesgos e incertidumbre son mayores cuando la evaluación se proyecta a largo plazo.

Por ello es necesario que el evaluador incluya en el estudio un capítulo que detalle las posibles incertidumbres con que se ha encontrado el equipo en su trabajo y, si es posible, hacer una previsión de riesgos y la forma de enfrentarse a ellos.

Debido a este grado de incertidumbre, en las Evaluaciones de Impacto Ambiental se mejoran enormemente los datos de riesgo, con objeto de cubrir estas lagunas.

Los técnicos y científicos dedicados al Medio Ambiente, se han encontrado y se encuentran todavía con algunas dificultades en estos estudios, que hacen que no les satisfaga plenamente lo que están haciendo.

Por un lado piensan que en los países industrializados se ha implantado el marco institucional antes de que estuviera totalmente definida la base científica, especialmente en lo que respecta a tres importantes disciplinas: sociología, economía y derecho o sea las ciencias sociales, en las que no está bien definido su contenido ambiental.

Esto motiva el que los técnicos y científicos de las otras disciplinas, correspondientes a los impactos geobiofísicos, tengan grandes dificultades al incorporar en su equipo de trabajo a los sociólogos y economistas.

Por otra parte, los técnicos y científicos no están acostumbrados a que sus trabajos sean comentados por el público y analizados por personas no muy expertas. Tampoco les resulta fácil el diálogo con los grupos sociales organizados y, sin embargo, este diálogo es absolutamente necesario para conseguir la participación ciudadana en las E.I.A. y en el proceso de decisión.

Por otra parte, es fundamental tener en cuenta que los análisis o estudios de impacto ambiental, presentan diversas ventajas de tipo económico.

Las experiencias o estudios realizados en la Comunidad Económica Europea muestran que el costo de las acciones preventivas, incluyendo en él el de los estudios de evaluación de impacto, es inferior a los costos de la contaminación y deterioros por impactos no previstos; sin tener en cuenta, además, que es mucho mejor prevenir que corregir.

Las experiencias piloto realizadas indican que el costo de preparación de las evaluaciones de impacto ambiental es muy bajo. En Holanda las experiencias sitúan la cifra sobre un 0,25 por 100 del costo total de la obra. En Francia, un estudio del Ministerio del Medio Ambiente y Calidad de Vida indica un costo medio de 0,25 al 0,75 por 100; en USA un estudio de la Environmental Protection Agency da el porcentaje de 0,19 por 100; y en una encuesta realizada en 18 países se afirma que el costo medio se sitúa en un 0,5 por 100 del costo total de la obra. Si tenemos en cuenta que estos costos tendrán que descender aún lógicamente, como consecuencia de la mejora de los conocimientos, la disponibilidad de datos, los servicios de información, la calificación del personal especializado y por el efecto repetición, se puede afirmar que su implantación no es costosa.

Otra ventaja de tipo económico es el hecho de que la aplicación del procedimiento no supone un alargamiento de los plazos de ejecución de la obra. El costo de la obra está influenciado en buena medida por el tiempo

po necesario para proyectarla, autorizarla y realizarla. Este tiempo puede ser acortado gracias a una concepción correcta de la obra desde un punto de vista ambiental, pues ello puede permitir reducir o evitar aplazamientos innecesarios derivados de la oposición del público en general, así como de las administraciones competentes. En los países del Mercado Común Europeo, mediante el sistema implantado por la Directiva de la CEE, se asegura la participación de los interesados junto a la Administración y al titular del proyecto. Esta participación conduce a un proceso de decisión más transparente y añade un margen de seguridad, obviando inconvenientes cada día más frecuentes como la oposición, en ocasiones violenta, de sectores públicos a determinados proyectos, o los recursos administrativos y judiciales, que suponen costosos retrasos.

Los estudios de impacto ambiental obligan a estudiar a fondo los procesos de fabricación y el tratamiento de efluentes y residuos. En estas operaciones se pone de manifiesto, con toda claridad, la conveniencia del ahorro de energía, agua y otras materias primas, mediante el reciclado de agua, recuperación de energía y aprovechamiento de subproductos y residuos, cuya utilización no se había previsto antes. En algunos casos, incluso, resulta conveniente modificar los procesos. Todo ello permite ahorros económicos muy importantes.

La vigilancia continua de los parámetros del medio ambiente y la evaluación de los ecosistemas deberá formar parte integrante del sistema de análisis del medio ambiente; esto es necesario para proporcionar los datos de base y análisis técnicos y para evaluar a posteriori las decisiones específicas. La vigilancia y la evaluación son esenciales para la toma de decisión, si se quiere proteger y mejorar la calidad del medio.

## METODOS APLICABLES

Puesto que una evaluación de impacto debe abarcar los siguientes aspectos:

1. Describir la acción propuesta, así como otras alternativas.
2. Predecir la naturaleza y magnitud de los efectos ambientales sobre el hombre y sobre los componentes biótico y abiótico de su entorno.
3. Interpretar los resultados.
4. Prevenir los efectos ambientales.

En las técnicas seguidas para la evaluación habrá que distinguir las me-

todologías que respondan a la función analítica antes mencionada, por lo que se pueden establecer:

- a) Métodos de identificación
- b) Métodos de predicción.
- c) Métodos de interpretación
- d) Métodos de prevención.
- e) Métodos de comunicación.

Hay muchas clasificaciones de las diferentes metodologías (de las que a su vez hay decenas), pero hay que tener en cuenta que ninguna está totalmente desarrollada, ni resulta absolutamente idónea para un determinado proyecto. En todos los casos hay que ajustar el modelo a la compleja realidad física y socioeconómica que presenta una localización dada. De ahí que casi siempre se opera con una metodología «ad hoc».

Como las políticas de protección ambiental son relativamente recientes y algunos de los instrumentos utilizados para mejorar, conservar y restaurar el medio no han sido suficientemente experimentados, es preciso continuar los trabajos de investigación y mejora de las metodologías de evaluación.

Las deficiencias o insuficiencias más destacadas de las metodologías que se aplican en el análisis de la incidencia de las actividades del hombre sobre el medio ambiente son:

- a) La falta de consideración suficiente de los efectos sociológicos de las acciones del hombre.
- b) Los métodos no dan soluciones, sólo permiten sistematizar un análisis que sirve de ayuda al proceso de decisión.
- c) No se analizan los factores de riesgo e incertidumbre, que son muy importantes en la planificación regional y sectorial.

A pesar de estas carencias y dificultades en la aplicación, es preciso utilizar una metodología que permita trabajar a un equipo multidisciplinar, bajo la coordinación y dirección de un Jefe de proyecto, cuya labor es fundamental. Si el equipo está bien seleccionado e integrado, se subsanan gran parte de estas carencias y deficiencias.

Como orientación, se mencionan las clasificaciones de DICKERT, la de WARNER y BROMLEY y la de HEER y HAGERTY.

CUADRO I

### Clasificación de las metodologías para las evaluaciones de impacto ambiental, según DICKERT

#### *FUNCION ANALITICA*

<i>Identificación</i>	Descripción del sistema ambiental existente.
	Determinación de los componentes del proyecto.
	Definición de las alteraciones del medio causadas por el proyecto (incluyendo todos los componentes).
<i>Predicción</i>	Identificación de las alteraciones ambientales significativas.
	Revisión del cambio cuantitativo y/o espacial en el medio ambiente identificado.
	Estimación de la probabilidad de que el impacto (cambio neto ambiental) ocurra (duración en tiempo).
<i>Evaluación</i>	Determinación de la incidencia de costos y beneficios en los grupos de usuarios y en la población afectada por el proyecto.
	Especificación y comparación de relaciones costo/beneficio entre varias alternativas.

DICKERT efectúa la clasificación de las distintas metodologías en relación con las tres funciones analíticas asociadas con la evaluación de impactos: identificación, predicción e interpretación o evaluación.

En 1974 WARNER y BROMLEY clasificaron las metodologías para la evaluación de impactos en cinco grupos:

- I) Métodos «ad hoc».
- II) Técnicas gráficas mediante mapas y superposiciones.
- III) Listas de chequeo (identificación).
- IV) Matrices (identificación).
- V) Diagramas (identificación).

HEER y HAGERTY clasifican las metodologías para las E.I.A. en seis grupos que son los siguientes:

1. Métodos tradicionales de evaluación de proyectos, como el sistema beneficio/coste.

2. Técnicas gráficas, como los mapas, transparencias (sistemas de Mc Harg, Krauskopf).
3. Métodos numéricos, mediante el empleo de ratios y otras cifras representativas.
4. Matrices causa-efecto (sistemas de Leopold, Moore, New York, Dee 1973).
5. Listas de chequeo (sistemas Jain, Georgia, Stacey, Urban, Adkins, Dee, Stover).
6. Sistemas cuantitativos (Battelle).

Como ejemplo de las diferentes metodologías que se aplican, se expone un resumen de las siguientes:

### **Métodos de identificación**

#### *Sistemas de red y grafos*

- Método de Leopold
- Listas de chequeo o de referencia
- Método del CNYRPAB
- Método de Sorensen
- Método Bereano
- Consideraciones ambientales del Banco Mundial.

#### *Sistemas cartográficos*

- Método de Mc Harg
- Método Tricart
- Sistema de planificación ecológica de Falque

#### *Análisis de sistemas*

#### *Métodos basados en indicadores e integración de la evaluación*

- Método de Holmes
- Método de la Universidad de Georgia
- Método de Hill-Schechter
- Método Fisher-Davies

### **Métodos cuantitativos**

- Sistema Battelle
- Modelos de predicción

En general se exponen estos sistemas de forma breve y esquemática y sólo en algunos casos se tratan más extensamente por diversas razones, ya sea por ser pioneros en estos trabajos, como es el caso de LEOPOLD y su equipo en la confección de su matriz; las consideraciones ambientales, de salud y de ecología humana en proyectos de desarrollo económico del Banco Mundial, o IAN MC HARG que en 1969, desarrolló en su libro «Design with Nature» un método que emplea técnicas gráficas en el estudio de usos del territorio y evaluación ambiental.

El sistema Battelle es complejo y muy costoso de aplicar pero se desarrolla con amplitud porque es uno de los pocos intentos efectuados para operar cuantitativamente.

Los modelos de predicción de la calidad del aire y de la calidad del agua son los más utilizados; por eso se consideran bastante completos en los capítulos dedicados a la evaluación del impacto, de un proyecto o acción, sobre la calidad del aire o sobre las aguas.

### **Métodos de identificación**

La fase de identificación de los impactos es muy importante porque una vez conocidos los efectos, se pueden valorar las consecuencias, con más o menos precisión, por diferentes sistemas y en caso de que no se disponga de datos o de que no sea posible evaluar rigurosamente los deterioros potenciales, se adoptan soluciones muy conservadoras en previsión de las lagunas de información y carencia de conocimientos existente.

Las metodologías de identificación más utilizadas corresponden a los denominados sistemas de red y grafos. Los más conocidos son las listas de chequeo, los análisis matriciales causa-efecto y los gráficos. El más conocido es el de Leopold, que corresponde a un análisis matricial causa-efecto y cuyos factores ambientales también pueden emplearse como lista de chequeo.

#### *Matrices causa-efecto*

Estos son sobre todo métodos de identificación y valoración preliminar; son métodos cualitativos, no cuantitativos, y realizan un análisis de

las relaciones de causalidad entre una acción y sus efectos sobre el medio.

Estos sistemas son de una gran utilidad para valorar cualitativamente varias alternativas de un mismo proyecto (por ejemplo, para determinar la incidencia ambiental de un mismo proyecto en diferentes localizaciones o con diversas medidas correctivas, de varios tamaños o empleando distintos procesos).

Son muy útiles también para las evaluaciones preliminares, puesto que permiten obtener una primera aproximación del impacto ambiental.

Se describe a continuación el sistema más conocido, el de LEOPOLD.

#### *Método de Leopold*

La llamada matriz de Leopold —que se ha reproducido en castellano y se adjunta a este texto— fue el primer método que se estableció para las evaluaciones de impacto ambiental. Realmente, es un sistema de información —es decir, es un método de identificación— y se preparó para el Servicio Geológico del Ministerio del Interior de los Estados Unidos, como elemento de guía de los informes y de las evaluaciones de impacto ambiental.

La base del sistema es una matriz en que las entradas según columnas son acciones del hombre que pueden alterar el medio ambiente y las entradas según filas son características del medio (factores ambientales) que pueden ser alteradas. Con estas entradas en filas y columnas se pueden definir las interacciones existentes. Como el número de acciones que figuran en la matriz son 100 y 88 el de efectos ambientales, resultarán 8.800 interacciones, si bien son muy pocas de éstas las realmente importantes y dignas de consideración especial.

De la misma forma que no se aplicarán a cada proyecto todas las acciones listadas, también puede ocurrir que, en determinados proyectos, las interacciones resultantes no estén listadas como base única para una identificación de efectos, con lo que pueden olvidarse algunos efectos peculiares del proyecto en cuestión. Normalmente, el número de interacciones observadas en los distintos proyectos analizados es de 25 a 50.

Un primer paso para la utilización de la matriz de Leopold consiste en la identificación de las interacciones existentes, para lo cual se consideran primero todas las acciones (columnas) que pueden tener lugar dentro del proyecto en cuestión. Posteriormente, y para cada acción, se consideran todos los factores ambientales (filas) que pueden quedar afectados significativamente, trazando una diagonal en la cuadrícula correspondiente a la columna (acción) y fila (factor) considerados. Una vez hecho esto pa-

ra todas las acciones, tendremos marcadas las cuadrículas que representen interacciones (o efectos) a tener en cuenta.

Una vez que se han marcado todas las cuadrículas que representan impactos posibles, se procede a una evaluación individual de los más importantes.

Cada cuadrícula admite dos valores:

- Magnitud, según un número de 1 a 10, en el que el 10 corresponde a la alteración máxima provocada en el factor ambiental considerado y 1 a la mínima.
- Importancia (ponderación), que da el peso relativo que el factor ambiental considerado tiene dentro del proyecto, o la posibilidad de que se presenten alteraciones.

Los valores de magnitud van precedidos con un signo + o con un signo —, según se trate de efectos positivos o negativos sobre el medio ambiente.

Una vez llenas las cuadrículas, el próximo paso consiste en evaluar o interpretar los números en ellas colocados. Para simplificar el trabajo, es aconsejable operar con una matriz reducida, en la que también se disponen en columnas las acciones y en fila los factores ambientales entre los cuales existe una interacción. Se llega a disponer así de una matriz más accesible para la evaluación, que puede tener hasta 100 ó 150 cuadrículas y realmente importantes no más de 50, dimensión mínima si se compara con las 8.000 de la matriz original.

La matriz reducida final nos presenta una serie de valores que indican el grado de impacto que una acción puede tener sobre un factor del medio. A pesar de hacer una ponderación o definición de la importancia de dicho factor, los valores de las distintas cuadrículas de una misma matriz no son comparables ni, por supuesto, pueden sumarse o acumularse. Sin embargo, sí admiten comparación las cuadrículas correspondientes de las matrices preparadas para alternativas de un mismo proyecto.

La evaluación de los parámetros «magnitud» e «importancia» ha de hacerse, en lo posible, sobre la base de datos, cuyo sistema de procesamiento o interpretación para llegar a definir los valores magnitud e importancia, debe ir acompañando a la matriz, con lo cual ésta se convierte en un mero resumen del texto o estudio de impacto ambiental adjunto. Por tanto, la matriz es un resumen y el eje del estudio es la descripción detallada de los impactos expuestos en el texto.

Según la especificación original de presentación del método, tales estudios detallados deben incluir, como cualquier estudio de impacto ambiental, lo siguiente:

- La descripción y los datos técnicos suficientes para evaluar el impacto.
- El impacto probable del proyecto sobre el medio ambiente.
- Los probables efectos adversos que no pueden evitarse.
- Las alternativas existentes.
- La relación entre el uso del medio local por el hombre a corto plazo y el mantenimiento y aumento de productividad a largo plazo.
- La irreversibilidad y falta de recuperación de los recursos afectados.
- Las objeciones planteadas por terceros.

La matriz de Leopold tiene aspectos positivos entre los que cabe destacar que son pocos los medios necesarios para aplicarla y su utilidad en la identificación de efectos, pues contempla en forma bastante completa los factores físicos, biológicos y socio-economicos involucrados, sobre todo si el equipo multidisciplinar que interviene en el estudio completa y adapta casuísticamente la relación de factores ambientales. En cada caso esta matriz requiere un ajuste al correspondiente proyecto y es preciso plantear bien los efectos de cada acción, sobre todo enfocando debidamente el aspecto objeto de estudio.

El sistema es bastante subjetivo por cuanto no existen unos criterios de valoración. No obstante si el equipo evaluador es multidisciplinar puede operarse con criterios bastante objetivos.

#### Listas de chequeo o de referencia

Es también un método de identificación, aún más simple que el de las matrices causa-efecto y como tal debe utilizarse, especialmente para evaluaciones preliminares. Se trata de listas específicas de factores ambientales.

Los impactos del proyecto en cuestión se comparan con los impactos relacionados en la lista de chequeo y con sus actividades conexas.

La mayor ventaja de este método es la posibilidad que ofrece de cubrir o identificar casi todas las áreas de impacto.

URSOS /ABLES	G. CAMBIOS EN TRAFICO	H. SITUACION Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS	I. TRATAMEN TO QUIMICO	J. ACCI- DENTES	Otros	EVALUACIONES
ir/aneas 18	s, etc.	s y desperdicios mineros hierárneo icubos de petróleo s profundos :aliente municipales liquidos :ión y oxidación ticas, comerciales y domésticas residuales	hica de autopistas, etc :a del suelo vegetación silvestre	ento		

## II. ACCIONES QUE PUEDEN CAUSAR EFECTOS AMBIENTALES

Hay que recordar una vez más que es también un método de identificación cualitativo y desde luego sirve sólo para un análisis previo. Sirven sobre todo de «recordatorio» de temas a considerar.

Una metodología de este tipo es la desarrollada por JAIN, URBAN y STACEY para la Armada en USA (CERL) en 1974.

Estas listas (lo mismo que la matriz de Leopold u otra matriz) van acompañadas de un informe que describe detalladamente las posibles variaciones de cada uno de los factores ambientales considerados y este informe es realmente el estudio de evaluación más que la matriz o lista de identificación propiamente dicha.

Puede ser bastante útil, sobre todo para la Administración, tener elaboradas unas listas de chequeo para determinados tipos de proyectos, que incluyan también los criterios a seguir en la valoración y unas directrices para enjuiciar los resultados.

Hay diversos tipos de listas:

- a) Listas simples: se analizan factores o parámetros sin valorarlos ni interpretarlos.
- b) Listas descriptivas: se analizan factores o parámetros y se presenta la información referida a los efectos sobre el medio ambiente.
- c) Listas de verificación y escala: se lleva a cabo el mismo trabajo que con la lista descriptiva y se incluye además una escala —subjetiva— de valoración de los efectos ambientales.
- d) Listas de verificación, escala y ponderación: se opera con el procedimiento de las listas de verificación y escala, pero se introducen unas relaciones de ponderación de factores en las escalas de valoración.

Como puede observarse, se trata de actuaciones secuenciales, más o menos completas, según el proyecto de que se trate.

En las TABLAS V y VI figuran una lista de chequeo ambiental que el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente considera para proyectos industriales (\*) y la relación de factores ambientales del Método de Leopold.

---

\* PNUMA. *Serie industria y medio ambiente. Volumen 1. «Principes directeurs pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement des industries et critères environnementaux de leur implantation».*

TABLA V

**Lista de chequeo ambiental considerada por el PNUMA  
para proyectos industriales**

---

Posibilidades de empleo  
 Diversidad de empleo  
 Desarrollo de las especialidades  
 Posibilidad de formación técnica  
 Transferencia de tecnología  
 Migración de la población  
 Estructura de la población  
 Demanda de viviendas  
 Equipamiento educativo  
 Equipamiento sanitario médico  
 Estructura de salarios  
 Distribución de la renta  
 Oportunidades empresariales  
 Servicios comerciales  
 Desarrollo de los recursos locales  
 Efectos sobre la utilización de las tierras  
 Cosechas agrícolas  
 Granjas ganaderas  
 Servicios de transporte  
 Valor de las propiedades  
 Calidad del aire  
 Calidad de las aguas dulces  
 Efectos sobre la zona costera  
 Emisiones gaseosas  
 Carga de efluentes  
 Eliminación de residuos sólidos  
 Efectos sobre la fauna  
 Efectos sobre la flora  
 Instalaciones y recursos recreativos  
 Niveles de ruido y vibraciones  
 Calidad visual y paisaje

---

TABLA VI

**Lista de chequeo del Método de Leopold para  
identificación de los impactos ambientales**

---

**A CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS**

**A.1. Tierra**

- a) Recursos minerales
- b) Material de construcción
- c) Suelos
- d) Geomorfología
- e) Campos magnéticos y radiactividad de fondo
- f) Factores físicos singulares

**A.2. Agua**

- a) Continentales
- b) Marinas
- c) Subterráneas
- d) Calidad
- e) Temperatura
- f) Recarga
- g) Nieve, hielo y heladas

**A.3. Atmósfera**

- a) Calidad (gases, partículas)
- b) Clima (micro, macro)
- c) Temperatura

**A.4. Procesos**

- a) Inundaciones
- b) Erosión
- c) Sedimentación y precipitación

TABLA VI (continuación)

- d) Solución
- e) Sorción (intercambio de iones, complejos)
- f) Compactación y asientos
- g) Estabilidad
- h) Sismología (terremotos)
- i) Movimientos de aire

## B. CONDICIONES BIOLOGICAS

### B.1. Flora

- a) Árboles
- b) Arbustos
- c) Hierbas
- d) Cosechas
- e) Microflora
- f) Plantas acuáticas
- g) Especies en peligro
- h) Barreras, obstáculos
- i) Corredores

### B.2. Fauna

- a) Pájaros (aves)
- b) Animales terrestres, incluso reptiles
- c) Peces y mariscos
- d) Organismos bentónicos
- e) Insectos
- f) Microfauna
- g) Especies en peligro
- h) Barreras
- i) Corredores

TABLA VI (continuación)

## C. FACTORES CULTURALES

### C.1. Usos del territorio

- a) Espacios abiertos y salvajes
- b) Zonas húmedas
- c) Selvicultura
- d) Pastos
- e) Agricultura
- f) Zona residencial
- g) Zona comercial
- h) Zona industrial
- i) Minas y canteras

### C.2. Recreativos

- a) Caza
- b) Pesca
- c) Navegación
- d) Baño
- e) Camping
- f) Excursión
- g) Zonas de recreo

### C.3. Estéticos y de interés humano

- a) Vistas panorámicas y paisajes
- b) Naturaleza
- c) Espacios abiertos
- d) Paisajes
- e) Agentes físicos singulares
- f) Parques y reservas
- g) Monumentos

TABLA VI (continuación)

- h) Especies o ecosistemas especiales
- i) Lugares u objetos históricos o arqueológicos
- j) Desarmonías

#### C.4. Nivel cultural

- a) Estilos de vida
- b) Salud y seguridad
- c) Empleo
- d) Densidad de población

#### C.5. Servicios e infraestructura

- a) Estructuras
- b) Red de transportes
- c) Red de servicios
- d) Eliminación de residuos sólidos
- e) Barreras
- f) Corredores

#### D. RELACIONES ECOLOGICAS

- a) Salinización de recursos de agua
- b) Eutrofización
- c) Vectores enfermedades-insectos
- d) Cadenas alimentarias
- e) Salinización de materiales superficiales
- f) Invasión de maleza
- g) Otros

#### Redes

Los sistemas que emplean redes utilizan una relación de actividades preparadas para establecer una red «causa-condición-efecto».

Estas redes permiten reconocer los impactos que una determinada acción puede producir en el medio.

#### Método del CNYRPAB (Departamento de Desarrollo y Planificación Regional del Estado de Nueva York)

El método consiste en identificar los impactos de un proyecto, para lo cual se utilizan dos matrices.

La primera matriz, semejante a la de Leopold, relaciona las condiciones iniciales del ambiente y el estado de los recursos naturales con las posibles acciones sobre el medio. Se marcan las casillas a las que corresponde un impacto directo y se califican con un número de orden.

Los impactos calificados se cruzan o interrelacionan entre ellos, mediante el empleo de una segunda matriz, para identificar los impactos secundarios o indirectos.

Las interrelaciones entre impactos primarios o directos y secundarios o indirectos, se clasifican en los siguientes tipos:

- Importantes y directos.
- Importantes e indirectos.
- Menores y directos.
- Menores e indirectos.

Mediante estas dos matrices es posible detectar los impactos directos y los indirectos producidos por una determinada acción e inversamente, se pueden analizar también las causas que dan lugar a un impacto dado.

Esta técnica pretende analizar los impactos de forma sistemática, pero no pueden evaluarse, simplemente se efectúa una identificación de los mismos. Por otra parte se refleja una situación estática, puesto que no se incluye la variable tiempo.

#### Método de Sorensen

Es también un método de identificación, cuyo objetivo es identificar y analizar los impactos de los diferentes usos del espacio, con varias alternativas, sobre el medio natural.



- Introducción de «utilidades», que los autores definen como interpretación del bienestar social (empleando técnicas Delphi, valoraciones de mercado, etc.)
- Cálculo de un «valor ponderado», que es el producto, para cada efecto, de la «utilidad» por su probabilidad.
- Agregación de los valores ponderados de los diferentes efectos para cada variante (con afectación de su peso de importancia relativa a los diferentes parámetros).

El método presenta, como todos, ventajas e inconvenientes. Es pluridisciplinar, se pueden considerar los aspectos dinámicos de los impactos, aunque el factor tiempo no aparece explícitamente; el método se refiere principalmente a los parámetros de evaluación; las técnicas de grafos empleadas hacen difícil el establecimiento de relaciones lógicas complejas (como las interacciones, retroalimentación, efectos secundarios) y el sistema de medida de los impactos se efectúa a un nivel muy global, sin precisar los agentes involucrados ni su localización.

El método Bereano está enfocado sobre todo para la diferenciación de efectos entre variantes. Resulta apropiado para proyectos como los siguientes: proyectos singulares, de gran importancia, como oleoductos, autopistas, carreteras, etc.

#### *Consideraciones ambientales de salud y ecología humana en proyectos de desarrollo económico del Banco Mundial*

El Departamento de Medio Ambiente del Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF) —generalmente conocido como Banco Mundial— puede decirse que es pionero en este tipo de estudios. En efecto, en 1970, antes de la Conferencia de Estocolmo, el grupo constituido por funcionarios del propio Banco con la Asociación Internacional para el Desarrollo y la Corporación Financiera Internacional, ya había establecido un puesto asesor «para revisar y evaluar cada proyecto de inversión desde el punto de vista de sus efectos potenciales sobre el medio ambiente». En estos años, el Banco Mundial ha estudiado cientos de proyectos para los que se había solicitado su financiamiento y en esos estudios se ha incluido también la variable ambiental.

Los criterios seguidos por el Banco Mundial en la evaluación ambiental de los proyectos están recogidos, en gran parte, en su publicación «Consi-

deraciones ambientales de salud y ecología humana en proyectos de desarrollo económico», que se resume brevemente a continuación, porque es otro tipo de metodología para esta clase de estudios.

En esta metodología los objetivos se fijan en la identificación y medición de los efectos de los proyectos de desarrollo sobre la ecología humana y ambiental. Puede decirse que es, sobre todo, un método de identificación.

Estas consideraciones ambientales se agrupan en seis categorías o componentes que tienen por objeto:

- señalar los puntos generales que sirven de base para analizar las posibles consecuencias del proyecto,
- indicar la información necesaria y el tipo de experiencia que se requieren para estudiar con profundidad los aspectos ambientales de los diferentes proyectos,
- proporcionar una estructura para la formulación de procedimientos y pautas para el examen y la consideración sistemática de los factores ambientales.

Se transcriben a continuación las seis categorías o componentes ambientales que adoptó el Banco Mundial:

#### *A. Vinculaciones entre el medio ambiente y los recursos*

- Composición del ecosistema.
- Función y factores del ecosistema, como por ejemplo:
  - Uso de la tierra y capacidad de la misma para sostener a la población.
  - Capacidad para absorber la contaminación.
- Cambios o alternativas.
- Selección de la tecnología.
- Posibilidades de transformación de materiales con fines de aprovechamiento.
- Otros mercados externos.

#### *B. Diseño y construcción del proyecto*

- Protección inmediata de los valores ambientales.

- Planes consolidados de construcción para proteger la flora y la fauna y evitar la erosión.
- Exámenes médicos periódicos para la selección y protección de la fuerza laboral.

### C. Operaciones

- Administración de las materias primas.
- Manejo de los desperdicios
- Mantenimiento de medidas de protección.
- Vigilancia o control de los efectos (y sinergia).
- Condiciones de salud en el trabajo.

### D. Factores socio-culturales

- Efectos socio-culturales (prioridades).
- Reubicación de personas.

### E. Repercusiones en la salud

- Control de los vectores de enfermedades.
- Servicios de salubridad.
- Introducción y/o propagación de las enfermedades.

### F. Consideraciones a largo plazo

- Sucesos imprevistos (catástrofes).
- Contexto del desarrollo regional.

Las consideraciones ambientales en esta metodología se aplican dentro de este marco general, pero con un enfoque específico para proyectos relacionados con las siguientes actividades: agricultura, industria, transporte y servicios públicos.

Operativamente se divide el estudio en varias partes. En la primera se analizan los factores clave que hay que tener en cuenta previamente a las consideraciones ambientales; en la segunda se estudian éstas. Como marco de apoyo, da unas pautas generales para la formación o el establecimiento de criterios, especialmente en el sector de proyectos industriales.

En esta metodología se incluye, además, una serie de información referida a los capítulos de salud pública y normas internacionales sobre contaminación del aire y del agua en sus aspectos biológico, físico y químico, que resulta muy útil como base o datos de apoyo en el trabajo de evaluación. Tal información permite establecer una serie de criterios, por ejemplo, sanitarios tanto en lo que toca a los ambientes exteriores como a los lugares de trabajo, para evaluar, en una primera aproximación, los distintos proyectos.

Veamos un ejemplo concreto en materia de proyectos de desarrollo industrial. Además de las propias implicaciones ambientales del proyecto, el Banco Mundial analiza la unidad de producción desde otros tres puntos de vista:

- Higiene y seguridad en el trabajo.
- Accidentes que pueden producirse en el exterior como consecuencia de un escape.
- Impacto ecológico debido al uso del producto (caso de los pesticidas).

En los proyectos industriales, el Banco Mundial sigue una metodología de análisis, dividida en nueve puntos, con los que intenta analizar el proyecto en el contexto geográfico y socioeconómico en que se pretende instalar. En este análisis se trata al medio ambiente como una entidad económica, es decir, que se le aplican los conceptos de escasez, prioridades y distintas posibilidades de acción o alternativas.

En las nueve fases del análisis ambiental se consideran, desde la vinculación del proyecto con el uso y la gestión de los recursos naturales que se van a emplear, hasta el destino final de los residuos en la zona o sistema en que se han de eliminar, pasando revista, claro está, a las operaciones intermedias, tanto durante la construcción del proyecto como una vez acabado y al estar en funcionamiento. Esas nueve fases son:

1. Vinculación con los recursos naturales: consideraciones que se tienen en cuenta desde la extracción del recurso o su llegada al país para el proyecto sometido a evaluación.
2. Proceso: análisis de las distintas posibilidades en cuanto a operaciones individuales y a los procesos de transformación química. Evaluación de tecnologías.

3. Capacidad asimilativa del lugar: análisis de la actual capacidad de carga de la tierra, de los cursos de agua y del aire para determinar las condiciones originales y el efecto del proyecto. (Resiliencia del medio).
4. Manejo de los desechos: análisis de todos los productos, los sub-productos inclusive, y los desechos para su tratamiento, reutilización y asimilación.
5. Operación y control: mantenimiento y control dentro del proyecto (en el control se incluyen el aire, el agua y la tierra, tanto desde el punto de vista químico como biológico).
6. Aspectos sociales: las relaciones humanas en los sistemas de asentamientos.
7. Aspectos relacionados con la salud: seguridad y bienestar de la población afectada por la fábrica.
8. Destino final: transformación, reutilización y asimilación del producto y productos futuros (retorno, en los casos que sean posibles, a la vinculación con los recursos naturales).
9. Optimización: análisis de costos de las distintas alternativas.

En la FIGURA 3 aparece un esquema de esta metodología.

Como puede apreciarse, con esta metodología lo que se realiza realmente es una identificación de factores y posibles efectos ambientales, con el fin de facilitar la toma de decisiones al poner de manifiesto las consecuencias ambientales de la adopción de una u otra alternativa.

### Sistemas cartográficos

Junto con los métodos económicos tradicionales de evaluación se están utilizando muchas técnicas cartográficas, tradicionales también, de representación, para determinar la localización y extensión de los impactos sobre el medio, así como la localización y calidad de determinadas áreas territoriales de cierta significación ambiental, o de determinado valor (cultural, arqueológico, social, económico).

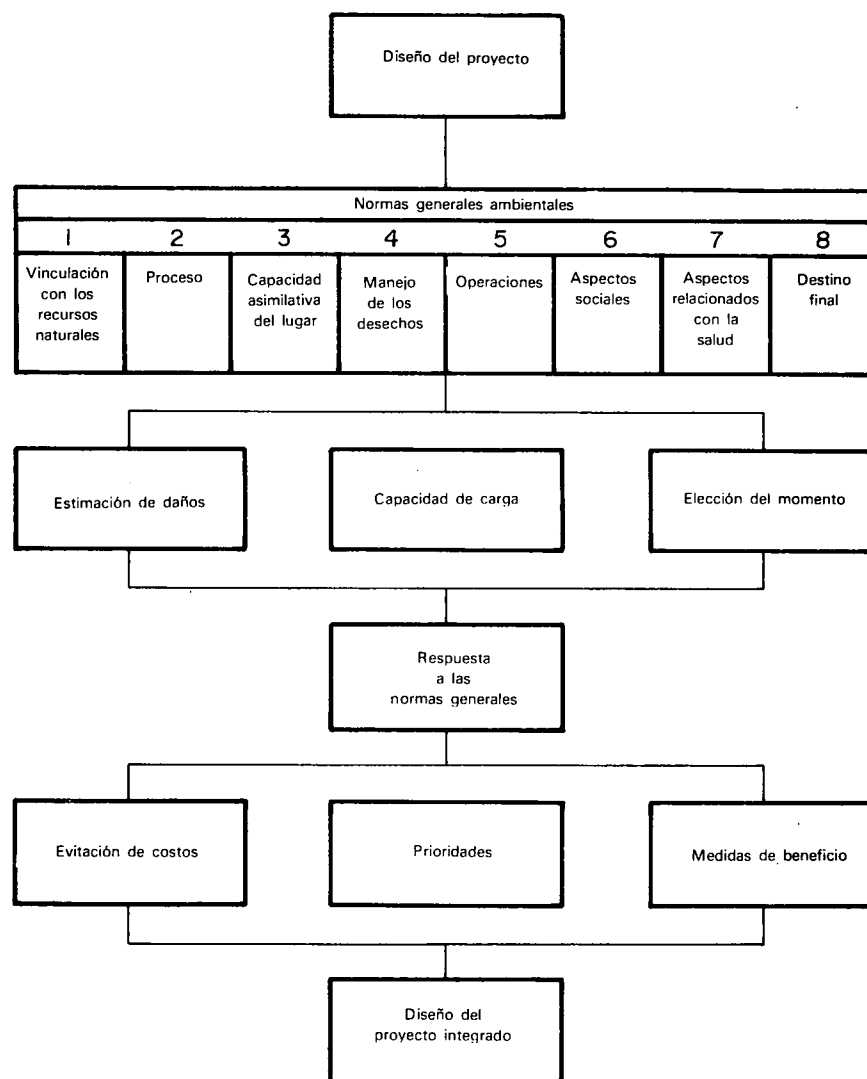


FIGURA 3.—Metodología del Banco Mundial. Procedimiento de optimización de los costos de las distintas alternativas.

Con frecuencia, se han empleado técnicas gráficas comparativas en estudios de usos del territorio y en investigaciones de evaluación ambiental. Una de las metodologías más representativas de este tipo es la desarrollada por IAN MC HARG en su libro «Design with Nature», en 1969, que marcó un hito en la ordenación del territorio y en la defensa y mejora del medio ambiente.

Proyectos como el trazado de una autopista, un ferrocarril, líneas eléctricas de alta tensión, oleoductos y gasoductos, aeropuertos, canales, etc., son los que, en una primera aproximación, son evaluados por este método o por los de Mc. Harg, Hills, Lewis, Johns y otros semejantes, todos ellos enfocados más hacia la localización de usos en el territorio, para las distintas actividades sociales y económicas. Tales métodos tienen desde luego en cuenta las características del territorio, pero sin llegar a una evaluación profunda de los impactos, en el sentido que la contemplan, por ejemplo, las metodologías que cuantifican impactos. Lo que sí se hace en todos ellos es una identificación e inventario de recursos.

Las técnicas que se emplean en estos métodos tienen también otra escala, pues se opera con macromagnitudes, como es natural; los fotogramas aéreos y las técnicas de teledetección, por ejemplo, se utilizan casi siempre.

El sistema llamado de mapas, coberturas, transparencias o superposiciones, efectúa una división del territorio afectado por la totalidad del proyecto mediante el trazado de unas retículas. Se obtienen así una serie de unidades geográficas, en cada una de las cuales se estudia un conjunto de factores ambientales y se aplican unos indicadores de impacto, previamente establecidos. Se utilizan transparencias y en cada una de ellas se marcan los resultados obtenidos en el estudio. Se superponen después los resultados de las distintas transparencias y, mediante un tratamiento de toda esta información en un ordenador, mediante el correspondiente programa —como siempre en este tipo de estudios—, se llega a unas conclusiones finales.

Las técnicas cartográficas pueden ser buenas herramientas de «comunicación», sobre todo en estudios del medio físico. Son muy útiles en las reuniones con el público y en actividades para la difusión o aclaración de conceptos al público en el proceso de planificación.

#### *Método de Mc. Harg*

I. MC HARG es el padre de la «planificación ecológica», mediante el establecimiento de mapas de aptitud del territorio para los diversos usos.

A partir de una descripción ecológica del lugar, se trata de evaluar las posibilidades de ordenación o planificación y sus consecuencias sobre el medio ambiente. La síntesis del trabajo se presenta en unos mapas de afectación óptima del suelo a los diversos usos del mismo.

I. L. MC HARG es un graduado en planificación regional y arquitectura paisajista, especialmente preocupado por el modo en que los procesos biológicos deberían ser reconocidos como criterios restrictivos y orientadores en la planificación regional. Su teoría consiste en presentar los procesos naturales como determinantes del uso del suelo. Su sistema consiste en la aplicación de los conocimientos del medio natural para planificar la localización y forma de desarrollo.

Al final de su modelo, MC HARG llega a un sistema de recomendaciones muy claro, pero no finaliza del todo el proceso de planificación.

El procedimiento comienza con la elaboración de un inventario, que consiste en la mapificación de los siguientes factores: clima, geología histórica, fisiografía, hidrología, suelos, flora, fauna y uso actual del suelo. En el inventario se tiene en cuenta la causalidad de los factores citados, que considera como indicadores de los procesos naturales, requiriéndose así la comprensión de la naturaleza como un proceso. Por ello es importante inventariar los factores en el orden indicado. El clima y la geología hacen factible interpretar la fisiografía que, a su vez, determina la hidrología y todo ello permite comprender la formación del recurso suelo. La distribución de la vegetación es el resultado de la interacción entre los factores citados, y la fauna está íntimamente ligada a ella. Por último, los usos del suelo, al menos hasta épocas recientes, han estado estrechamente relacionados con las características del medio.

En segundo lugar, se interpretan los datos del inventario en relación con las actividades objeto de localización y se traduce en mapas de capacidad intrínseca para cada una de las actividades, que son básicamente: agricultura, recreo, selvicultura y uso urbano. (\*)

(\*) Véase el Cuaderno n.º 10 del CIFCA, D. GÓMEZ OREA. El Medio Físico y la Planificación, Madrid, 1978, y para una mayor información I. L. MC HARG, «Design with nature». Natural History Press, Nueva York, 1969.

Por otra parte, se atribuye valores a los procesos, lo que permite obtener una zonificación del área total según su valor. MC HARG establece cuatro valores a los procesos o recursos naturales:

1. Cualidades inherentes del proceso.
2. Productividad del proceso: agricultura, selvicultura y recreo.
3. Mantenimiento del equilibrio ecológico.
4. Riesgos potenciales derivados del uso inadecuado de los procesos o recursos naturales.

La valoración es un paso delicado que ofrece muchas dificultades. MC HARG trata de resolverlo utilizando numerosos criterios de medida relacionados con la salud o el bienestar humano.

Comparando o enfrentando los usos objeto de localización entre sí, se obtiene una matriz de incompatibilidades.

Todos estos datos —mapas de valor, mapas de capacidad y matriz de incompatibilidades— se sintetizan en un mapa de adecuación o capacidad combinada para los cuatro usos simples considerados y sus combinaciones compatibles, o sea los múltiples usos posibles.

Paralelamente al proceso descrito, que MC HARG denomina «inventario ecológico», se realiza un «inventario económico» y también un análisis visual del paisaje, a partir del cual se establecen criterios de visualización. Estos datos, unidos a los mapas de adecuación y a los criterios de forma y diseño establecidos, constituyen documentos que permiten a las autoridades instrumentar la planificación.

MC HARG ha desarrollado también técnicas para resolver problemas concretos, especialmente en lo que se refiere a la localización de las grandes infraestructuras de transporte, identificando y clasificando las facilidades y limitaciones derivadas de las características del medio físico. Los puntos en que concurren los mayores costos sociales de la construcción, y en que existan limitaciones derivadas de las características del medio, son los menos favorables a la localización. Cada factor inventariado se valora, y este valor se expresa cartográficamente en distintas tonalidades de gris: a mayor valor, mayor intensidad de color. El proceso es secuencial y cada secuencia se traduce en mapas transparentes o en datos codificados legibles por ordenador. La superposición de los mapas muestra las zonas que mejor responden al conjunto de los criterios de partida.

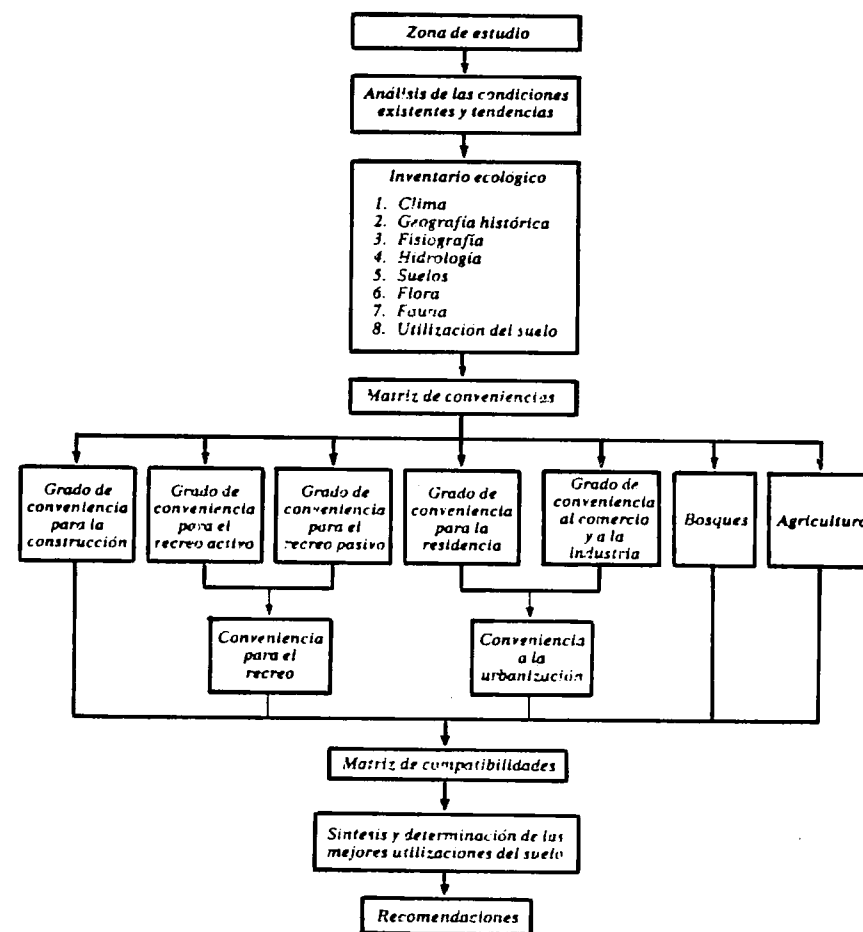


FIGURA 4.—Secuencia del método de Mc Harg.

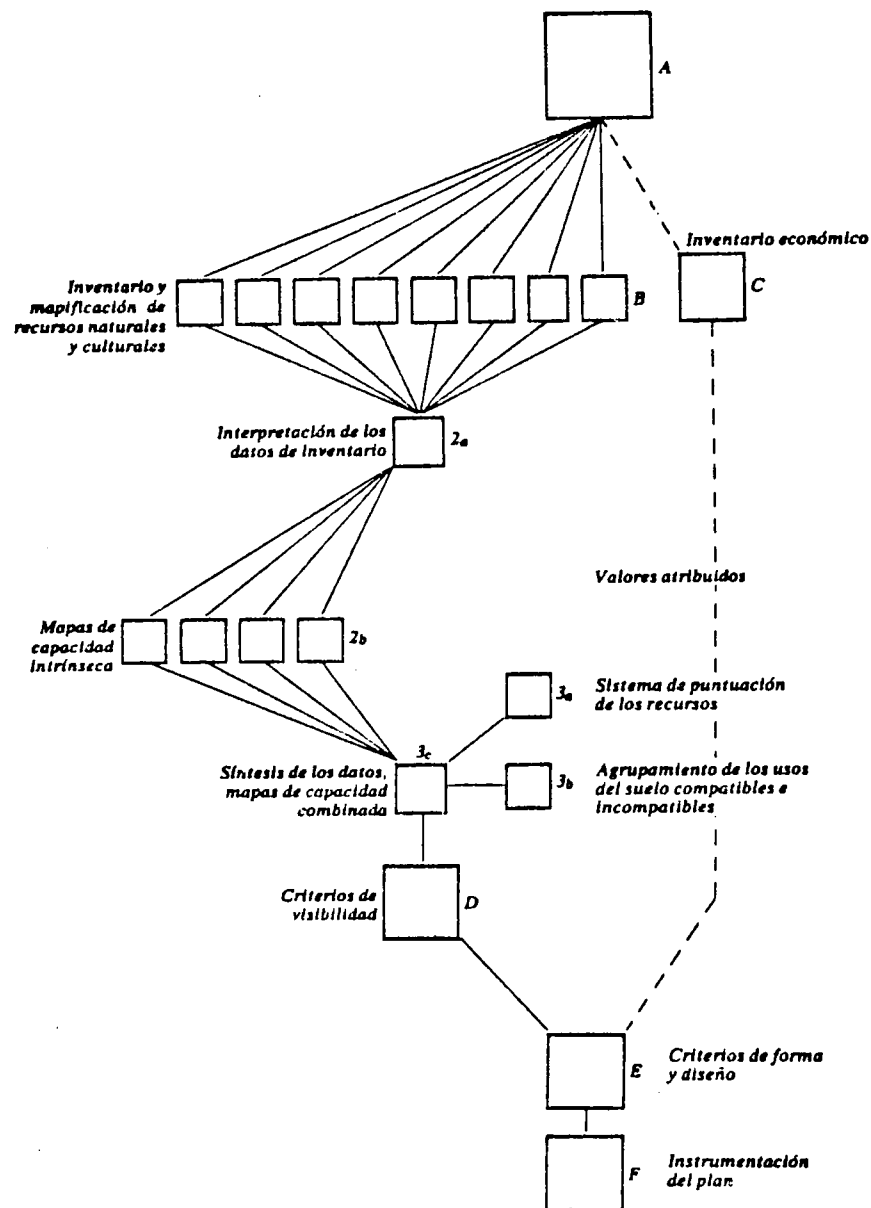


FIGURA 5.—Diagrama del método de Mc Harg.

*Método Tricart*

Los trabajos de M. J. TRICART constituyen una aproximación al problema de elaboración de mapas de criterios restrictivos de protección del medio, frente a la planificación potencial. Corresponde, pues, a la fase de identificación y análisis de los impactos.

El objetivo principal es recoger el conjunto de datos y conocimientos científicos para comprender la dinámica del medio natural y destacar las zonas o factores que pueden limitar determinados usos del territorio.

Los datos e información de entrada son: cartografía de todos los elementos naturales (litología, relieve, cubierta vegetal, hidrología, acuíferos subterráneos, acciones humanas, etc.)

Por otra parte se identifican, localizan y analizan los diferentes procesos y sistemas en una interacción dinámica.

Este método es bastante útil para la ordenación de los recursos hídricos. Por ejemplo, para efectuar un inventario o plan hidrológico se deben efectuar los siguientes análisis y cartografía:

- Tipos fisionómicos de cubierta vegetal.
- Datos morfométricos (mapas de pendientes).
- Manifestaciones hidrológicas.
- Comportamiento hidrológico (zonas de infiltración más o menos profunda, redes de drenaje, etc).
- Acuíferos subterráneos.
- Acciones humanas (obras, edificaciones e infraestructuras existentes).

Con los datos y análisis anteriores se pueden caracterizar los procesos mediante una combinación definida de los factores que intervienen en una cierta área. Esta caracterización permite efectuar una subdivisión del espacio en unidades jerarquizadas. Todo ello se reproduce en una cartografía de los factores naturales que pueden limitar ciertos usos del territorio.

*Sistema P.E. — Planificación ecológica de M. FALQUE*

M. FALQUE ha adaptado y divulgado en Francia las ideas de MC HARG, descomponiendo algo más el análisis ecológico del territorio.

Las principales etapas de este método son:

- a) Proceder a la realización de un inventario ecológico de la región.
- b) Determinar para cada uso potencial cuáles son las características ecológicas favorables o desfavorables.
- c) Para cada uso, realizar mapas de aptitud del territorio.
- d) Analizar las incompatibilidades entre los diferentes usos, indicando en particular, las zonas de concurrencia y conflicto de usos.

Antes de iniciar el inventario han de tenerse previamente en cuenta una serie de cuestiones. La primera se refiere a la información existente. De la gran cantidad de datos recogidos con distintas finalidades y por diferentes organismos, pocos de ellos se publican y no siempre está garantizada su fiabilidad: es muy frecuente que fuentes distintas aporten datos no coincidentes y aún contradictorios. Por otra parte, la diversidad de escalas, de ámbito y de grado de detalle obligan a una importante tarea de homogeneización. A ello hay que añadir la antigüedad de muchos datos básicos publicados y, por último, la falta de referencias geográficas que los hace de difícil uso a efectos de la planificación física.

Los datos del inventario deben ser:

- a) *Significativos*, respecto al objetivo a cubrir, en términos cualitativos y cuantitativos. El exceso de información puede producirse porque se tomen datos innecesarios para los objetivos del estudio, o porque —aún siendo útiles para las metas perseguidas— no se disponga de capacidad suficiente para asimilarlos y manejarlos. En ambos casos se produce un despilfarro de medios materiales. Por el contrario, el defecto de información puede conducir a resultados finales no suficientemente finos o —lo que es peor— falsos. Por ello, es indispensable evaluar de antemano los medios de que se dispone y la capacidad real de tratamiento, sin perder de vista los objetivos del plan.
- b) *Operativos*, es decir, utilizables a los efectos de la planificación. Los datos del inventario pueden encontrarse en una de estas dos situaciones: inmediatamente operativos —por ejemplo, la vegetación o la capacidad de uso de los suelos— o indirectamente operativos, es decir, que puedan transformarse en operativos.

- c) *Fácilmente obtenibles*. Por lo común mucha de la información es redundante. El inventario debe dirigirse hacia aquella más fácilmente asequible.
- d) *Precisos*, es decir, que tengan calidad suficiente y en concordancia con el modelo que se va a utilizar para su tratamiento. Para conseguir un buen nivel de calidad es fundamental la definición nítida e independiente de los datos, a fin de que cualquiera que haga el inventario los identifique perfectamente.
- e) Por otra parte, la calidad de los datos es algo a tener en cuenta a la hora de diseñar los modelos de tratamiento. De poco servirá disponer de modelos de gran complicación, si no se dispone de datos cuya calidad se corresponda con la finura del modelo. En este error se cae con frecuencia en el campo de la ordenación territorial.

### Modelización y análisis de sistemas

El análisis de sistemas pretende tener una representación del modo de funcionamiento global del sistema «hombre-ambiente».

Las características del análisis sistemático son:

- Definir un objetivo a alcanzar para que se resuelva el problema.
- Definir las soluciones alternativas para alcanzar los objetivos.
- Introducir estas soluciones alternativas en un cuadro formalizado (modelo de simulación, programa matemático, modelo físico-matemático).
- Determinar la solución óptima.

Estos modelos deben contener todas las relaciones y variables que son esenciales o significativas en el sistema económico-ambiental que se estudia en una formulación matemática obtenida y contrastada estadísticamente; si bien algunas relaciones son directamente formulables por tratarse de igualdades o definiciones (tal es el caso de la ecuación de balance de materiales).

Las variables son: unas exógenas (como los datos sobre contaminantes que afluyen al sistema desde fuentes externas al mismo) y otras endógenas

o cuantificables por resolución del modelo (por ejemplo, valores de los residuos generados por los distintos sectores a determinados niveles de producción y consumo o concentración de contaminantes tras un período de actividad del sistema).

Los modelos pueden tener carácter estático, en cuyo caso describen esquemáticamente y pueden cuantificar el sistema en un momento determinado, y entonces los valores de las variables están referidos a dicho punto en el tiempo, o bien pueden ser modelos dinámicos, con lo que representarán el funcionamiento del sistema a lo largo de un período de tiempo.

Otra clasificación es la mencionada entre modelos de simulación, enfocados principalmente al estudio de las diferentes alternativas que se presentan al dar distintos valores a las variables instrumentales, y modelos de optimización que, como es sabido, tratan o bien de maximizar o bien de minimizar (de llevar al óptimo, en definitiva) una función objetivo dadas unas limitaciones o restricciones del sistema y unas condiciones establecidas políticamente (tal es el caso, por ejemplo, de que se establezcan unos niveles máximos permisibles de contaminantes en el sistema).

La construcción de estos modelos puede hacerse aprovechando la experiencia e información procedente de los modelos econométricos, ya en uso, principalmente de los elaborados con fines de prospección y planificación económica de que se disponga, y que deben ser completados con los aspectos ambientales y ecológicos, por ejemplo, mediante submodelos de difusión y asimilación ambiental y, en cuanto sea posible, con submodelos de ecosistemas o funciones de daños.

Las ampliaciones de las tablas y modelos económicos input-output con inclusión de aspectos ecológicos-ambientales permite interesantes enfoques de equilibrio general de dicha problemática conjunta. Ello se logra introduciendo unos sectores representativos del M.A. en las TABLAS I-O convencionales, los cuales aportan una serie de inputs o flujos de entrada de bienes y servicios medioambientales a los distintos sectores económicos, recibiendo a su vez de éstos unos outputs o flujos de salida, fundamentalmente constituidos por residuos.

Históricamente, los primeros pasos para integrar lo medioambiental en el marco input-output consistieron en incluir, de formas diferentes e ingeniosas, los efectos de la contaminación. Un primer intento se debió a JOHN H. CUMBERLAND, quien a mediados de los años 60 propuso introducir en unas TABLAS I-O regionales una fila para los costes de cada sector por distorsiones medioambientales y una columna para representar el coste que suponían las acciones para evitar los primeros. También LEONTIEF, crea-

dor de las modernas TABLAS I-O, introdujo una consideración parcial del M.A. en ellas, partiendo de suponer que la contaminación depende de la actividad de cada sector según un coeficiente técnico y considerando que su reducción por la industria anticontaminación es un consumo más para las industrias convencionales.

Posteriormente, éstos y otros autores, entre los que sobresalen PETER VICTOR y WALTER ISARD han desarrollado TABLAS económico-ambientales con mayor perfeccionamiento y grado de desagregación de los sectores medioambientales y han realizado interesantes aplicaciones prácticas de ellas.

Esquemáticamente unas TABLAS de I-O con inclusión del M.A. se pueden representar de la siguiente forma:

<i>Flujos de</i>	<i>a</i>	Sectores económicos convencionales e industrias anticontaminación no integradas	Sectores ambientales
Sectores económicos convencionales e industrias anticontaminación no integradas.		I Flujos económicos convencionales y anticontaminación.	II Residuos vertidos al M.A.
Sectores medioambientales		III Flujos medioambientales positivos, más efectos por contaminación (daños por contaminación).	IV Procesos ecológico-ambientales (dilución, inmisión y reconversión de residuos y renovación de recursos).

En este esquema vemos cómo la introducción del cuadrante III supone la posibilidad de cubrir la consideración en las tablas de todos los flujos de bienes y servicios medioambientales a la economía, además de considerar los costes por contaminación como en un principio hicieron CUMBERLAND y LEONTIEF y permite plantear y comprobar el balance de materiales en las TABLAS (siempre que se cuente con el volumen de datos necesarios), consiguiendo con ello una información valiosa y contrastada sobre los coeficientes de emisión de los distintos sectores productivos.

Un último paso es la introducción del cuarto cuadrante, que representará los procesos ecológico-ambientales (inputs, outputs y «autoconsumo» en el seno del M.A.), lo cual supone resolver y formular previamente las complejas relaciones que representan a aquellos procesos.

Con dicho fin se han emprendido ambiciosos estudios que principal-

mente se dirigen a obtener unas «funciones de daño» que permiten estudiar los efectos a distintos niveles de concentración de los contaminantes sobre los ecosistemas, habiéndose hecho estimaciones de dichas funciones e introducido sus resultados en TABLAS (Isard, Müller) para estudios muy localizados. Sin embargo, un conocimiento completo de los procesos ecológico-ambientales no se ha conseguido más que en ámbitos y ecosistemas reducidos, constituyendo su investigación una de las principales prioridades actuales en el campo de lo medioambiental, ya que dicho conocimiento debe dar, como ya se apuntó, la información necesaria para hacer más operativos los modelos económico-ambientales.

En cuanto a la desagregación del M.A. por sectores, ésta depende de la finalidad y del objeto de estudio de las TABLAS I-O. Siempre es posible y lógico realizarla siguiendo la clasificación del M.A. en sus tres grandes componentes o espacios: tierra, aguas y atmósfera, y dentro de ellos considerar, por ejemplo, suelo y subsuelo, aguas continentales y marítimas y diferentes zonas atmosféricas, pudiendo dividirse éstos a su vez en los sectores ecológicos y mixtos que interese (flora, fauna, clima, etc.).

Las TABLAS input-output no se emplean normalmente como una técnica de análisis cuantitativo aislada, sino que, complementadas con submodelos de otro tipo o formando parte de sistemas de modelos, aumentan las posibilidades conjuntas de información. Como es sabido, la matriz de coeficientes técnicos obtenida a partir de las TABLAS permite la construcción de los modelos econométricos I-O. Estos modelos I-O en forma estática, si se formulan como modelos de simulación, proporcionan fundamentalmente información básica sobre dos conjuntos de cuestiones: sobre repercusión en el sistema económico de las políticas anticontaminación y sobre diferentes opciones entre distintos niveles de actividad económica y de absorción de recursos medioambientales y generación de residuos. Mientras que resueltos como modelos de optimización pueden señalar, por ejemplo, niveles máximos del PIB que se pueden alcanzar con las estructuras de producción vigentes, fijados unos niveles máximos deseables de contaminantes.

Se han hecho estudios de dinamización de estos modelos I-O y aplicaciones de ellos a trabajos muy concretos. No obstante, no es fácil obtener proyecciones fiables cuando, al variar las tecnologías y demás condiciones del sistema, las relaciones cualitativas y cuantitativas producción/emisión de residuos se apartan de las observadas, con lo que sufrirán modificación también una serie de efectos inducidos en los ecosistemas. Lo que permite inferir que las simulaciones con los métodos I-O no son aconsejables más

que dentro de aquellos límites que aseguren una permanencia sustancial de estructuras en el sistema productivo y social.

### **Métodos basados en indicadores, índices e integración de la evaluación**

#### *Método de Holmes*

Este método pretende efectuar la evaluación y comparación de las variantes de un proyecto.

El método se basa en el hecho de que dado que numerosos parámetros no son cuantificables, el empleo de indicadores numéricos no es válido. La evaluación se efectúa comparando juicios subjetivos explícitos. Se opera del siguiente modo:

- 1.º Se elabora una relación de factores ambientales, adecuados a las características del proyecto.
- 2.º Los factores ambientales se clasifican por orden de importancia (sólo con criterios cualitativos).
- 3.º Se comparan las variantes del proyecto, siempre de manera cualitativa, mediante el empleo de un factor o parámetro previamente seleccionado.
- 4.º Se identifica la mejor variante, en función de su posición respecto a cada uno de los factores ambientales y de su importancia (agregación ordinal).

Este método es pluridisciplinario pero no se tienen en cuenta el carácter dinámico de los fenómenos ambientales y no se efectúa ninguna valoración cuantitativa.

#### *Método de la Universidad de Georgia*

El objeto de este método es evaluar los impactos ambientales de las variantes de un proyecto (carreteras, por ejemplo).

El método se basa en el cálculo de un indicador medio del impacto.

Consiste en agregar los valores de 56 componentes ambientales, como fracción de terreno modificado por este uso, ruido, seguridad, costo....

ponderados por los coeficientes representativos de la importancia relativa de los componentes.

Para cada componente se emplean dos valores, uno para la situación presente y otro para el futuro.

Esta metodología fue establecida en 1971 por ODUM.

Esta metodología es también pluridisciplinar y existen mecanismos para realizar una evaluación.

Por otra parte, hay que destacar la facilidad que presenta de que pueda participar el público, en la fase de determinación del peso de los componentes o atributos del ambiente.

Aunque esta ponderación de los atributos ambientales tiene un carácter subjetivo, el método es insensible a las variaciones importantes del peso de uno de los atributos.

Se puede considerar, además y simultáneamente, el presente y el futuro, así como soluciones alternativas. No permite, en cambio, considerar la solución alternativa de «no hacer nada».

#### *Método Hill-Schechter*

Este método presenta un índice agregado de satisfacción global de los criterios del decisor.

Estos trabajos parten de una reflexión crítica de los métodos de análisis costo-beneficio, estimando que no permiten integrar todos los elementos y en particular, los efectos intangibles.

El análisis coste-beneficio, trata, en general, de evaluar y sopesar globalmente los beneficios y costes sociales, reducidos a valores actuales, que se derivarán de una o varias opciones o alternativas.

Dicha evaluación de costes y beneficios se hace normalmente con ayuda de precios ficticios o imputados para aquellos bienes y servicios que no tienen un mercado que los fije, como es el caso de los bienes y servicios medioambientales.

No obstante, se puede prescindir de ellos, si los costes y beneficios admiten directamente comparaciones que permiten obtener conclusiones, sin necesidad de valorarlos en unidades monetarias.

Los precios imputados pueden ser meras estimaciones, por ejemplo, con base en encuestas sobre lo que una población estaría dispuesta a pagar por determinado servicio medioambiental o por analogía con los precios de mercado de servicios similares, o bien pueden deducirse de un proceso matemático de optimización, en cuyo caso los coeficientes de Lagrange representarán los ratios marginales de sustitución. Estos últimos son los

precios -sombra propiamente dichos en el sentido de LERNER y LANGE, ampliamente utilizados en las economías de planificación central.

La reducción de los beneficios y costes sociales que se producirán a lo largo del tiempo a valores actuales se realiza por el procedimiento de descuento empleando diversos tipos de descuento, generalmente también de carácter estimativo, tales como el tipo marginal de rendimiento de las inversiones, tasa de preferencia social temporal, etc.

A pesar de la abundante literatura sobre esta técnica de análisis coste-beneficio y del amplio uso que se ha hecho de ellas, no hay unanimidad ni sobre los conceptos fundamentales, ni sobre la metodología a emplear, ni sobre la validez de las distintas clases de precios imputados o de los tipos de descuento.

Como ejemplo de estas discrepancias de criterios se puede citar el concepto de coste social: éste es para KAPP la evaluación de las pérdidas que resultan de que la economía no alcance el óptimo de Pareto, mientras que una acepción más corriente lo define como un conjunto de perjuicios soportados por terceros como consecuencia de los costes de producción no tenidos en cuenta por los sujetos económicos responsables del daño. El concepto de coste social de KAPP nos da un enfoque más amplio y, por lo tanto, más conveniente en el análisis de problemas medioambientales, pero es difícil de trasladar del plano teórico al operativo, mientras que la acepción corriente, aunque más operativa, resulta insuficiente para evaluar todos los costes sociales que se derivan de las agresiones al ambiente.

Este método es, pues, indicado para el estudio de problemas medioambientales concretos, constituyendo la parte más sustantiva de los «informes de impacto ambiental», ya que presenta indudables ventajas por la sencillez de su enfoque y por la flexibilidad para adaptarse a los distintos tipos de problemas, permitiendo obtener una visión de conjunto muy estimable de las utilidades e inconvenientes de cualquier alternativa socioeconómica con repercusión medioambiental, siempre que se tengan en cuenta sus limitaciones.

Las limitaciones del análisis coste-beneficio no están tanto en la forma artificial de establecer los precios imputados, etc., como en que se supone siempre un enfoque de equilibrio parcial y en que dará este método lugar sólo a conclusiones válidas cuando el problema que se trata de analizar tenga una repercusión despreciable en la estructura de precios reales que rigen en la economía, pues en otro caso el análisis se habrá basado en unas relaciones de precios diferentes de las que podrían regir, caso de adoptarse, algunas de las alternativas estudiadas.

Otro inconveniente del análisis coste-beneficio es que tiende inevitablemente a dar subestimaciones, sobre todo, de los costes sociales, pues aún relacionando de forma meticulosa los efectos negativos que se derivarán de las alternativas consideradas, siempre se tiende a olvidar: los de pequeña entidad o de difícil cuantificación y evaluación, los efectos derivados por interacción de varios de ellos, los efectos de carácter muy particular o local, etc.

Cuando en un análisis coste-beneficio se consideran a la vez valores de la economía privada (a los que el sector privado exige altos retornos) y fondos públicos (en general, no sujetos a tan altos costes y escasez como aquéllos), es conveniente utilizar el análisis coste-eficacia, que compara la utilidad relativa de opciones alternativas, mediante la comparación entre costes y ganancias marginales.

La idea básica del método de Hill y Schechter es que los costos y beneficios no pueden compararse si no se refieren a un objetivo común. A partir de ahí, las variantes pueden evaluarse según los grados de realización de cada uno de los objetivos que constituyen los criterios de evaluación. Por ello, se caracterizan los objetivos del proyecto; se los clasifica en un sistema jerárquico en el que los objetivos del nivel más bajo son fácilmente cuantificables. Luego se determinan los instrumentos y mecanismos políticos que permiten alcanzar estos objetivos.

Para cada objetivo se establece un balance, teniendo en cuenta el reparto de costos y beneficios entre los diferentes grupos involucrados y ponderando eventualmente la importancia de cada grupo para tener en cuenta las preferencias de la colectividad. Cada costo o beneficio puede expresarse de diferentes formas:

- Tangible y traducido en términos monetarios.
- Tangible, pero expresado en otros términos no monetarios.
- Intangible, no siendo objeto de una apreciación cualitativa.

La «matriz de realización de objetivos» se presenta como una TABLA en la que figuran en las filas los diferentes agentes y en las columnas los objetivos. Una fila indica los pesos relativos acordes con el objetivo y, para cada objetivo, una columna representa la ponderación de los grupos. Para cada variante se obtiene una TABLA.

La etapa siguiente en la elaboración de la matriz es la de la agregación que se establece ponderando los diferentes objetivos perseguidos según la importancia de cada uno.

### *Método Fisher-Davies*

Este método pretende evaluar los impactos ambientales en el marco de un proceso integrado de planificación.

El método comprende tres etapas:

- 1.<sup>a</sup> Evaluación de la situación de referencia (estado preoperacional).
- 2.<sup>a</sup> Matriz de compatibilidad.
- 3.<sup>a</sup> Matriz de decisión.

La primera etapa, correspondiente a la evaluación de la situación de referencia o análisis de la situación inicial (estado preoperacional), incluye las siguientes fases:

- Identificación de los elementos del ambiente.
- Evaluación de su estado actual y de su importancia relativa.
- Estimación de su sensibilidad a un control eventual.

Los criterios se califican del 1 al 5 y la valoración se asigna subjetivamente por un equipo de expertos multidisciplinar, en forma conjunta, es decir interdisciplinar.

La importancia de un atributo depende de su papel en el proceso de impacto ambiental.

El estado preoperacional o actual es una medida de la degradación del ambiente. La sensibilidad al control de un elemento o atributo del medio depende de la existencia de técnicas de control de la contaminación o del posible deterioro, del costo de estas técnicas, de su posibilidad de implantación, etc.

La matriz de compatibilidad relaciona los elementos considerados «importantes» en la fase precedente y las actividades inducidas por el proyecto estudiado. Cada casilla representa, pues, el efecto de un elemento del proyecto sobre un atributo del ambiente. Este efecto se califica con un valor del 1 al 5, según su intensidad y con el signo + o - según que el efecto sea positivo o negativo para el ambiente. La matriz debe confeccionarse para cada una de las alternativas o variantes.

La matriz de decisión reagrupa los valores atribuidos a los elementos importantes en las diversas variantes. Se distingue entre variantes estructurales (incluyendo los equipamientos e infraestructuras como carreteras, presas, etc.) y las no estructurales (ocupación de suelos) y de localización.

A la vista de esta matriz se adoptan las decisiones correspondientes al proyecto estudiado.

Métodos cuantitativos

En los sistemas cuantitativos, que naturalmente son las metodologías idóneas para la evaluación de impactos, hay unos métodos globales, como el Battelle y otros parciales, que utilizan unos submodelos, como es el caso de los modelos de predicción de la calidad del aire debida a unas determinadas emisiones de contaminantes, o del agua, mediante los modelos que analizan la capacidad de autodepuración de un cauce. Estos modelos de predicción se exponen en los capítulos dedicados al estudio del impacto sobre la calidad del aire y sobre las aguas.

Método Battelle

Este método permite la evaluación sistemática de los impactos ambientales de un proyecto, mediante el empleo de indicadores homogéneos. Se trata de un sistema de evaluación cuantitativa.

Este modelo fue elaborado por los laboratorios del Battelle-Columbus, por encargo de la Oficina de Reclamaciones del Ministerio del Interior de los Estados Unidos, y se centró en la planificación de la gestión de recursos de agua. Sin embargo, puede aplicarse también a otro tipo de proyectos.

A lo largo de la exposición de este método y en la aplicación del mismo, hay que tener en cuenta que se elaboró precisamente para la gestión de recursos hidráulicos. Por ello los índices ponderales tienen unos valores asignados en función de lo que representa el recurso agua.

Al aplicarlo a otro tipo de proyectos, sirve la metodología pero habría que revisar los valores asignados a los índices ponderales e incluso modificar los componentes.

Es realmente un modelo de evaluación, como lo es también, por ejemplo, el elaborado por E. P. ODUM y otros autores del Instituto de Ecología, de la Universidad de Georgia, ya citado(\*).

El método Battelle puede utilizarse con dos fines, el primero para medir el impacto sobre el medio de diferentes proyectos de uso de recursos hidráulicos y el segundo para planificar a medio y largo plazo proyectos con el mínimo impacto ambiental posible. Este sistema puede emplearse, por consiguiente, en una escala micro (análisis de proyectos) o macro (proceso de planificación).

(\*) Véase «Optimum pathway matrix analysis approach to the environmental decision-making process». Institute of Ecology University of Georgia, Athens, 1971.

BATTELLE

F<sub>i</sub>

Subtotal

--	--	--	--

Admiración

Aislamiento/Soledad

Misterio

Integración con la naturaleza

Subtotal


3 (Patrones culturales)

Oportunidades de empleo

Vivienda

Interacciones sociales

Subtotal

Total Factores de Interés Humano


(I) = Parámetro de Unidades de Importancia (UIA)

Impacto Ambiental = Parámetro de Unidades de Importancia x calidad ambiental

U.I.A. = (U.I.P.) x (C.A.)

# SISTEMA DE EVALUACION AMBIENTAL BATTELLE

### Formato de muestra

Localización del Proyecto \_\_\_\_\_  
Nombre del Proyecto \_\_\_\_\_  
Fecha de la evaluación \_\_\_\_\_  
Lugar evaluado \_\_\_\_\_

### Equipo de evaluación

---

---

---

---

## Ecología

## Especies y Poblaciones

**Terrestres**

(14)	Pastizales y praderas
(14)	Cosechas
(14)	Vegetación natural
(14)	Especies dañinas
(14)	Aves de caza continentales

<b>Acuáticas</b>	
(14)	Pesquerías comerciales
(14)	Vegetación natural
(14)	Especies dañinas
(14)	Pesca deportiva
(14)	Aves acuáticas

(140)	Subtotal
-------	----------

Terrestres	
(12)	Cadenas alimentarias
(12)	Uso del suelo
(12)	Especies raras y en peligro
(12)	Diversidad de especies

Acuáticas	
(12)	Cadenas alimentarias
(12)	Especies raras y en peligro
(12)	Características fluviales
(14)	Diversidad de especies

(100)	Subtotal
-------	----------

## Ecosistemas

### Factores estéticos

**(240) Ecología Total**

### Factores Estéticos

## Suelo

(6)	Material geológico superficial
(16)	Relieve y caracteres topográficos
(10)	Extensión y alineaciones

(32)	Subtotal	100.00	100.00
------	----------	--------	--------

## Aire

(3)	Olor y visibilidad
(2)	Sonidos

(5) Subtotal

## Agua

(10)	Presencia de agua
(16)	Interfase suelo y agua
(6)	Olor y materiales flotantes
(10)	Área de la superficie de agua
(10)	Márgenes arboladas y geológicas

(52) Subtotal

## **Biota**

- (5) Animales domésticos
- (5) Animales salvajes
- (9) Diversidad de tipos de vegetación
- (5) Variedad dentro de los tipos de vegetación

(24) Subtotal

## Objetos Artesanales

(10) **Objetos artesanales**

((10)) Subtotal

## Composition

(15)	Efectos de composición
(15)	Elementos singulares

(30) Subtotal

(153) Total Factores Estéticos

## II. Ecología

### III. Contaminación Ambiental

### III. Factories Estéticas

#### IV., Factories of Interests Human

**TOTAL**[illegible]

(1) = Parâmetro de Unicidade de Importância (UIVA)

$$\text{Unidades de Impacto Ambiental} = \text{Ponderación de Unidades de Importancia} \times \text{calidad ambiental}$$
$$\mathcal{U}(A) = (\mathcal{U}(P)) \rtimes (\mathbb{C}A)$$

La base del sistema Battelle es la definición de una lista de indicadores de impacto, con 78 parámetros ambientales, que representan una unidad o un aspecto del medio ambiente que merece considerarse por separado, y cuya evaluación es además representativa del impacto ambiental derivado de las acciones o los proyectos en consideración.

Estos parámetros están ordenados en un primer nivel según los 18 «componentes ambientales» siguientes:

- Especies y poblaciones.
- Habitats y comunidades.
- Ecosistemas.
- Contaminación del agua.
- Contaminación atmosférica.
- Contaminación del suelo.
- Ruido.
- Suelo.
- Aire.
- Agua.
- Biota.
- Objetos artesanales.
- Composición.
- Valores educacionales y científicos.
- Valores históricos.
- Cultura.
- Sensaciones.
- Estilos de vida (patrones culturales).

Estos 18 componentes ambientales se agrupan, a su vez, en 4 «categorías ambientales»:

- Ecología.
- Contaminación.
- Aspectos estéticos.
- Aspectos de interés humano.

Todo ello tiene por objeto establecer los niveles de información progresiva requeridos, según el siguiente esquema:

Categorías ambientales → componentes → parámetros

siendo el último nivel de información la evaluación de los parámetros.

Como puede observarse, se trata de un sistema jerarquizado con cuatro niveles:

Nivel 1 - Información más general - CATEGORIAS AMBIENTALES

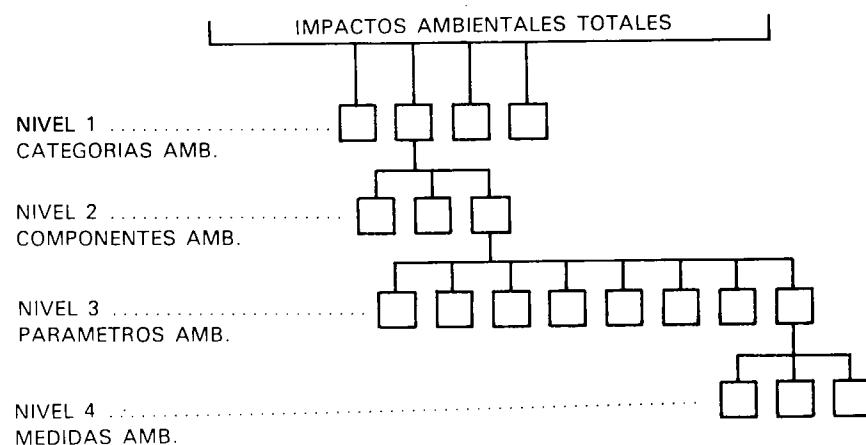
Nivel 2 - Información intermedia - COMPONENTES AMBIENTALES

Nivel 3 - Información específica - PARAMETROS AMBIENTALES

Nivel 4 - Información más específica - MEDIDAS AMBIENTALES

El nivel 3 es el nivel clave del sistema de evaluación. Cada parámetro representa una unidad o un aspecto ambiental significativo, que debe considerarse especialmente.

Los cuatro niveles están relacionados del siguiente modo:



Se ha establecido una relación de parámetros ambientales, de los que se pretende:

- Que representen la calidad del medio ambiente.
- Que sean fácilmente medibles sobre el terreno.

— Que respondan a las exigencias del proyecto a evaluar.

— Que sean evaluables a nivel de proyecto.

Una vez obtenida la lista de parámetros que responden a las exigencias planteadas, el modelo Battelle pretende establecer un sistema en el que dichos parámetros se lleguen a evaluar en unidades conmensurables —es decir, comparables— representando valores que, en lo posible, sean resultado de mediciones reales.

La técnica de transformación de datos en «unidades de impacto ambiental» (UIA), es la siguiente:

*Paso 1:* Transformar los datos en su correspondiente equivalencia de índice de calidad ambiental que representan y para el parámetro correspondiente.

*Paso 2:* Ponderar la importancia del parámetro considerado, según su importancia relativa dentro del medio ambiente.

*Paso 3:* Expresar a partir de 1 y 2, el impacto neto como resultado de multiplicar el índice de calidad por su índice ponderal.

#### *Índice de calidad ambiental*

El valor que un determinado parámetro —por ejemplo,  $\text{SO}_2$ , la DBO, etc.— tiene en una situación dada, o se prevé que resultará de una acción o un proyecto, no puede definirse con los términos admisible/no admisible, bueno/malo. Siendo muchos de ellos medibles físicamente, su valor es muy variable, y a cada uno le corresponde un cierto grado de calidad, entre el extremo cero (pésimo) y el óptimo. Para obtener valores de calidad comparables, el extremo óptimo se le asigna el 1, y al pésimo el 0, quedando comprendidos entre ambos extremos los valores intermedios para definir estados de calidad del parámetro.

El modelo Battelle indica además el sistema para establecer la «función de evaluación» de la calidad ambiental de un parámetro, en función de su magnitud.

En las FIGURAS 6, 7 y 8 se dan un ejemplo tipo de la función de evaluación y las correspondientes a otros parámetros.

Esta función puede ser lineal, con pendiente positiva (extensión de tierra cultivable), o negativa (pesticidas en el agua), o bien tener un punto

FIGURA 6.—Escala del Parámetro evaluado (metros, hectáreas, mg/l).  
Función de evaluación tipo.

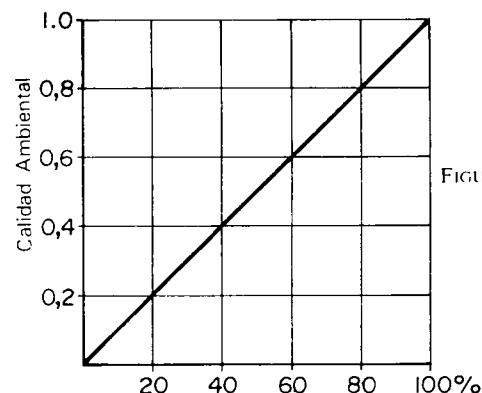
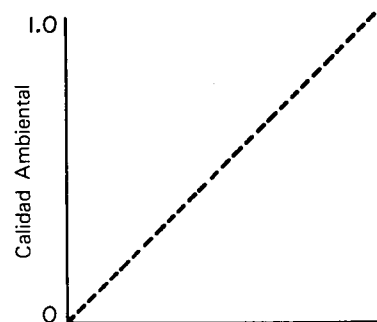
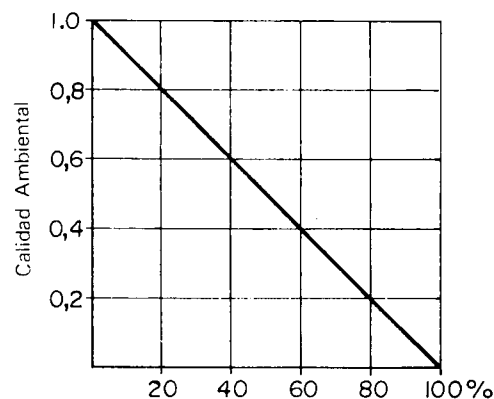


FIGURA 7.—Porcentaje de la superficie total.  
Vegetación natural.

FIGURA 8.—Porcentaje en peso.  
Especies dañinas (terrestres).



máximo intermedio (pH del agua), u otras formas según la correspondiente calidad-magnitud, que no siempre es directa o inversa.

Así pues, para evaluar la calidad del estado de un parámetro definido por su magnitud, habrá que establecer, en primer lugar, la función de evaluación que podremos representar gráficamente con índice de calidad en ordenadas y la magnitud medible en abcisas. Para cada valor que dispongamos en magnitud, bastará con llevarlo sobre las abcisas y obtener en ordenadas el índice de calidad correspondiente.

La función puede ser distinta según el entorno físico y socioeconómico del proyecto. No obstante, el modelo Battelle hace un estudio tan detallado de aplicación al contexto de los Estados Unidos, que su transformación respecto a otras situaciones no resulta difícil. En cualquier caso el sistema es muy claro aunque costoso de aplicar.

#### *Ponderación de parámetros*

Considerando que cada parámetro representa sólo una parte del medio ambiente, es importante disponer de un mecanismo según el cual todos ellos se pueden contemplar en conjunto y, además, ofrezcan una imagen coherente de la situación al hacerlo. Para conseguir ésto, hay que reflejar de alguna forma la diferencia entre unos parámetros y otros, en cuanto a su mayor o menor contribución a la situación del medio ambiente. Con este fin, en el modelo Battelle se atribuye a cada parámetro un peso o índice ponderal. Tal peso se expresa en forma de «unidades de importancia», y el valor asignado a cada parámetro resulta de la distribución relativa de mil unidades asignadas al total de parámetros (medio ambiente de calidad óptima).

En principio —y considerando que estos índices ponderales del parámetro representan su importancia dentro de un sistema global, que es el mismo para todos los proyectos—, los índices no deben variar de un proyecto a otro dentro de zonas geográficas y contextos socioeconómicos similares. Con ello se evita además la interpretación subjetiva del realizador.

Por esta razón, en el modelo Battelle, junto a cada parámetro, se indican las UIP, o índice ponderal, así como los que corresponden por suma de aquéllos a los niveles de agrupación de parámetros, componentes y categorías.

*Obtención de unidades conmensurables o unidades de impacto neto*

Si consideramos que a la situación óptima del medio le corresponde la unidad 1.000, como suma de las situaciones óptimas de sus parámetros definidos por sus UIP, la representación conseguida es coherente, apareciendo en ella los parámetros según su contribución relativa. Ahora bien, en el caso en que estos parámetros no se hallen en su situación óptima, su contribución a la situación del medio vendrá disminuída en el mismo porcentaje que su calidad y, en consecuencia, sus unidades de impacto ambiental (U.I.A.) expresadas:

$$(U.I.A.)_i = (C.A.)_i \times (U.I.P.)_i$$

*Evaluación final*

Aplicando el sistema establecido a la situación del medio si se lleva a cabo el proyecto («con proyecto») y a la que tendría el medio si éste no se realiza (por suma de estado cero y la evolución sin proyecto previsible), tendremos para cada parámetro unos valores cuya diferencia nos indicará el impacto neto del proyecto según dicho parámetro:

$(U.I.A.)_i$  con proy. -  $(U.I.A.)_i$  sin proy. =  $(U.I.A.)_i$  por proy., que puede ser positivo o negativo.

Considerando además que las U.I.A. evaluadas para cada parámetro, son conmensurables, podemos sumarlas y evaluar el impacto global de distintas alternativas de un mismo proyecto para —de su comparación— obtener la óptima. También nos sirve esta evaluación global para tomar las medidas conducentes a minimizar el impacto ambiental del proyecto y, de una forma general, según variaciones porcentuales, para apreciar la degradación del medio como resultado del proyecto, tanto globalmente como en sus distintos sectores (categorías, componentes o parámetros).

Pueden reflejarse así para cada parámetro, los valores en unidades de impacto ambiental neto (U.I.A.), correspondientes «con proyecto», «sin proyecto» y el correspondiente «al proyecto» por diferencia de los anteriores.

El impacto total del proyecto será la suma de cada uno de los impactos, expresados en sus correspondientes U.I.A.

En la FIGURA 9 se muestra la matriz de impactos del sistema Battelle.

## SISTEMA DE ALERTA

El modelo dispone además de un «sistema de alerta» por considerar que hay que destacar ciertas situaciones críticas. Aunque el impacto global de un proyecto sea admisible, puede haber ciertos parámetros que hayan sido afectados en forma más o menos inadmisibles. A tal efecto, se establece la utilización de «banderas rojas», según la variación porcentual del parámetro producida por el proyecto.

Las «banderas rojas» o señales de alerta, corresponden a los mayores impactos adversos y a los elementos frágiles del medio ambiente y requieren un estudio específico y casuístico detallado.

La detección de las «banderas rojas» o señales de alerta es uno de los aspectos más importantes de los estudios de impacto ambiental, puesto que destacan siempre los impactos significativos sobre los elementos ambientales más sensibles o frágiles y son precisamente estos impactos los que requieren verdadera atención.

En casi todos los métodos de evaluación, incluso en los más sencillos, como son las listas de chequeo, si el equipo evaluador es multidisciplinar y opera eficazmente, se pone de manifiesto enseguida cuáles son los puntos frágiles y los factores ambientales que requieren un estudio especial. Este estudio se efectúa para seleccionar los indicadores de impacto idóneos al proyecto, que están muy relacionados con los efectos más adversos.

Como orientación se exponen algunos ejemplos de la forma de operar con este sistema.

Tomemos la categoría Ecología y dentro de ella el componente ambiental «Especies y Poblaciones» y alguno de sus parámetros, como «cosechas».

El parámetro estimado tiene un valor resultado del producto de su magnitud por la cualidad modificadora.

Las medidas ambientales constituyen los datos necesarios para obtener una estimación del parámetro representativo. La selección y uso de los datos de medida está basada en el juicio profesional del evaluador, aunque se intenta racionalizar y objetivar todo lo posible estos juicios.

*Ecología. Especies y poblaciones*

La ecología es una ciencia jerárquica, con especies y poblaciones desde el nivel más bajo. Como muchos estudios ecológicos están relacionados con estos niveles se estimó que la información sobre especies y poblaciones (terrestres y acuáticas) podía ser un excelente indicador.

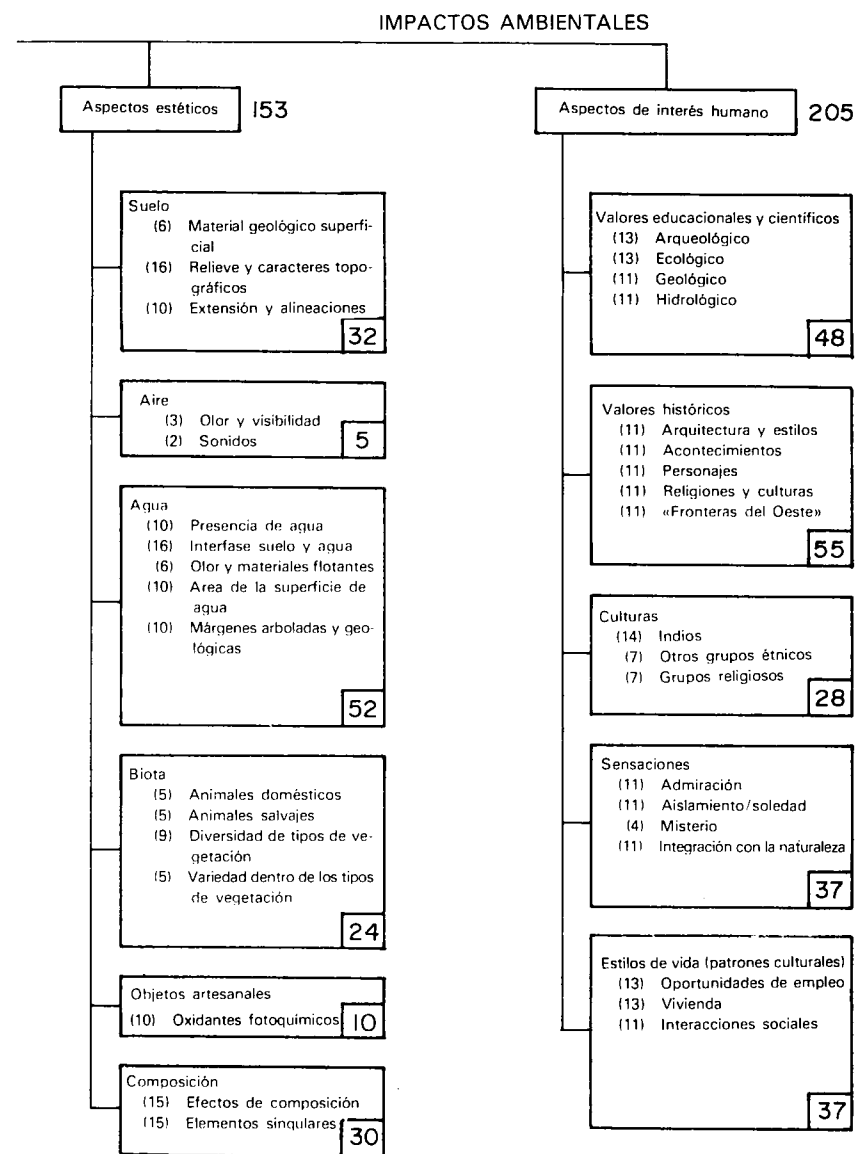
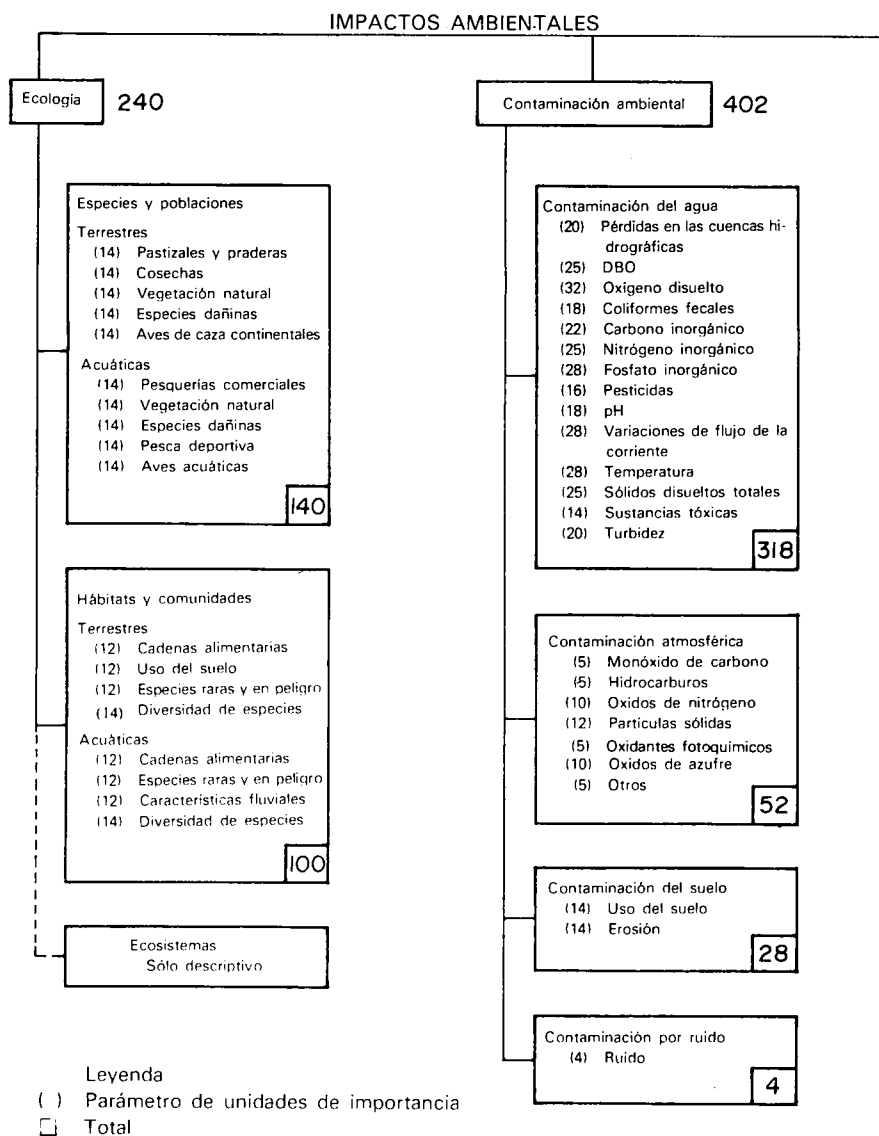


FIGURA 9.—Diagrama del sistema de evaluación ambiental de Battelle-Columbus.

Las especies incluidas en el Sistema Battelle son representativas de un buen medio ambiente o que tienen un valor comercial, recreativo o en definitiva económico para el hombre o que responden a ambas exigencias. Este nivel es bastante sensible y puede ser utilizado para detectar cambios, en principio no muy significativos, pero que con el tiempo pueden incidir de forma importante sobre la calidad ambiental en la zona objeto de estudio, entorno del proyecto evaluado.

Los proyectos relacionados con la gestión del agua (embalses, modificación de tramos de cuencas, puesta en regadío de grandes áreas y tierras de secano, inundación de tierras fértiles, suministros de aguas a poblaciones e industrias, instalaciones de tratamiento y depuración, etc.), requieren en muchos casos grandes extensiones de terreno o afectan a un entorno territorial amplio. Debido a la gran sensibilidad al cambio de especies y poblaciones, se consideró que las tasas de productividad, medidas anteriormente en el estado preoperacional del ecosistema, podían ser un buen indicador y una buena descripción de la media de la calidad ambiental del área.

Veamos el parámetro cosechas (terrestres) al que se le ha asignado un índice ponderal de 14 unidades.

#### *Cosechas (Terrestre)*

Las cosechas incluyen granos y forrajes. Muchos de los proyectos del Bureau of Reclamation están relacionados con el suministro de agua para regadíos a estas tierras. En consecuencia estos proyectos pueden causar impacto sobre el medio ambiente. Puesto que el agua es a menudo un factor limitante para la producción de cosechas, el impacto del aumento de riego sobre la productividad de cosechas es normalmente beneficioso. Para la evaluación de este parámetro son necesarios buenos datos sobre los tipos de cultivos (de regadío, de secano, pastos, etc.).

El valor de la función para las cosechas es lineal (Fig.10). El eje horizontal es el porcentaje del total de la superficie cultivable, dentro de los límites del proyecto. La superficie cultivable total será definida por el 100 por 100. Para obtener el % «con» o «sin» el proyecto propuesto, es necesario utilizar el concepto de magnitud modificada. La magnitud para cosechas, es el área en acres o hectáreas para cada tipo de cultivo. La cualidad modificadora es una estimación ponderada de la producción neta anual. El modificador es ponderado en una escala de 1 a 0, tal como sigue:

Valor Modificador	Producción
1,0	8000 lb/acre/yr
0,75	4000 lb/acre/yr
0,50	2000 lb/acre/yr
0,25	1000 lb/acre/yr
0	0 lb/acre/yr

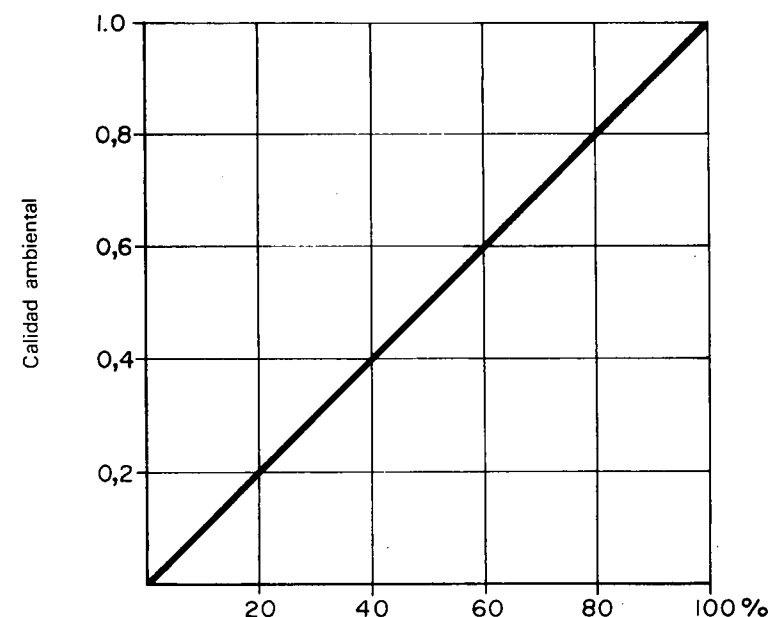


FIGURA 10.—Porcentaje de la superficie total. Cosechas (terrestres).

La producción neta anual se determina para cada tipo de cultivo y después se asigna un valor modificador usando la TABLA anterior. Si la producción es intermedia entre dos valores indicados en la escala se le asigna un valor intermedio, el que le corresponda. La calidad modificada es multiplicada por el número de acres o hectáreas del tipo de cultivo de que se trate para dar un área modificada. Sumando el área modificada para cada tipo de cultivo y dividiendo esta suma por la superficie cultivable total («sin» el proyecto) y multiplicando el cociente por cien nos da el peso en % para utilizar como valor de la función:

$$\text{Parámetro estudiado} = \frac{\sum_{i=1}^N (\text{Acres o Ha. de cultivo} \times K)}{\text{Total tierra cultivable}} \times 100$$

N = Número de tipos de cultivos

K = Productividad ponderada

Todos los cambios previstos en el área, y la producción deben ser utilizados en la evaluación de este parámetro «con» el proyecto. Para algunos incrementos del área en regadío debe haber algunas pérdidas en terreno de secano, en praderas o en ambas. Si algunas tierras cultivables deben ser inundadas, las pérdidas correspondientes deberán ser tenidas en cuenta según el tipo de cultivo que se vea afectado, pero no en el área total cultivable. Esto asegura que esta tierra cultivable inundada será evaluada como un impacto negativo.

El valor que resulte, supongamos que obtenemos un índice de calidad ambiental de 0,61, debe multiplicarse por su índice ponderal, que es 14. Por tanto este parámetro significará:

$$0.61 \times 14 = 8,54 \text{ Unidades de Impacto}$$

Nótese que una calidad ambiental óptima, resultado de estos impactos (es decir aplicando un índice de calidad de 1), sería en este caso de 14 unidades de Impacto Ambiental.

Con todos los parámetros se procede de forma semejante. En unos casos se opera de forma más sencilla y en otros mucho más complicada.

La suma algebraica de las Unidades de Impacto, correspondientes a todos los parámetros, es el impacto global del proyecto. Cuanto más cercana sea la cifra a 1.000 (valor óptimo), más positivo es el impacto del proyecto y cuanto más bajo, más desfavorable.

De este sistema lo más útil es la metodología, ya que permite operar con unidades conmensurables. Sin embargo, no debe aplicarse a cualquier proyecto sin haber sopesado bien los índices ponderales de cada parámetro, puesto que los del Sistema Battelle son para proyectos que gestionan recursos de agua y en un contexto determinado, como son los Estados Unidos. Pero este modelo puede ajustarse con otros componentes y otra ponderación de los mismos.

La TABLA VII indica la importancia relativa de las categorías y componentes ambientales en el sistema Battelle y la FIGURA 11 muestra la que se asignó a los parámetros.

TABLA VII

**Importancia relativa de las categorías y componentes ambientales en el sistema Battelle**

**NIVEL 1**

<i>CATEGORIA</i>	<i>Valor medio de los parámetros en PIU</i>
Contaminación	17
Ecología	13
Factores de interés humano	11
Factores estéticos	8

**NIVEL 2**

<i>COMPONENTE</i>	<i>Valor medio en PIU</i>
Contaminación del agua	23
Composición	15
Especies y poblaciones	14
Contaminación del suelo	14
Habitats y Comunidades	13
Valores Educativos y Científicos	12
Patrones culturales (estilos de vida)	12
Valores históricos	11
Suelo	11
Objetos artesanales	10
Agua	10
Culturas	9
Sensaciones	9
Contaminación del aire	7
Biota	6
Ruido	4
Aire	3

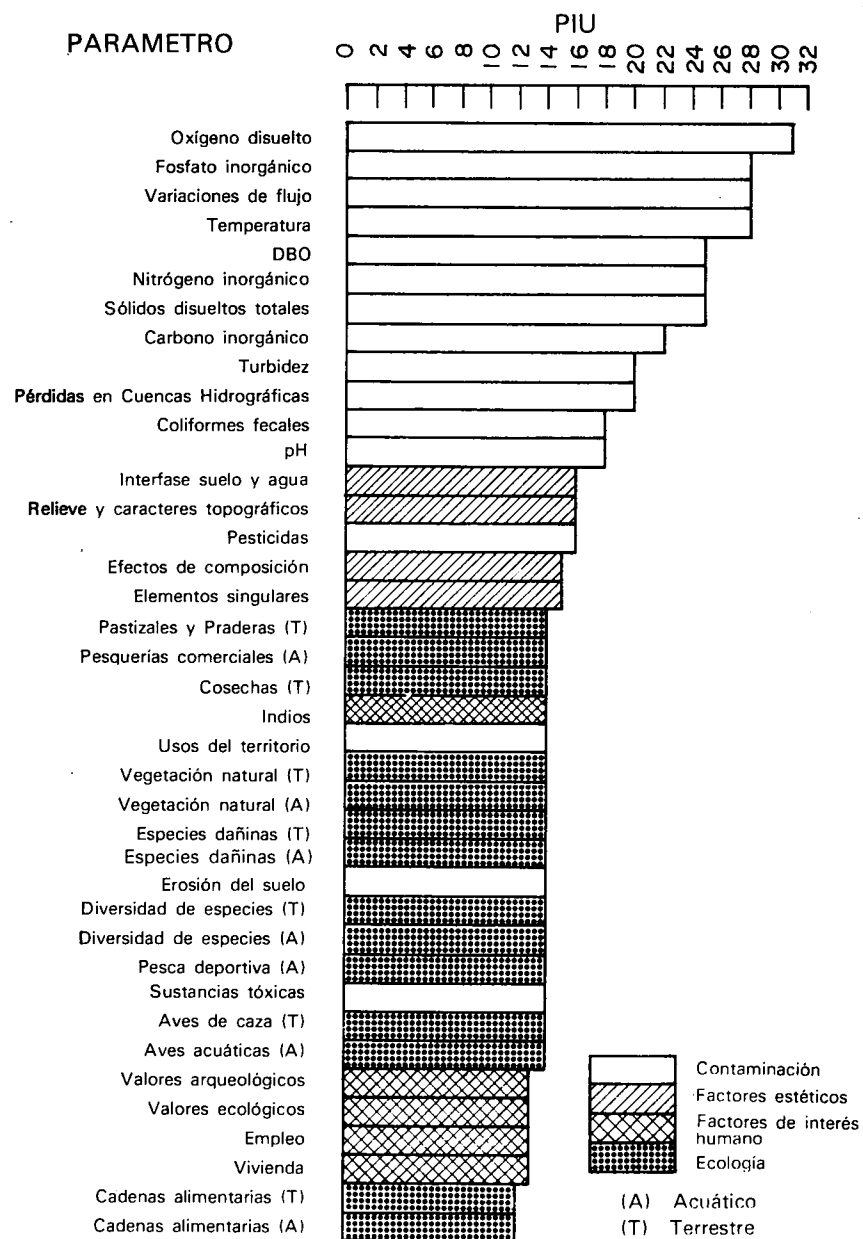
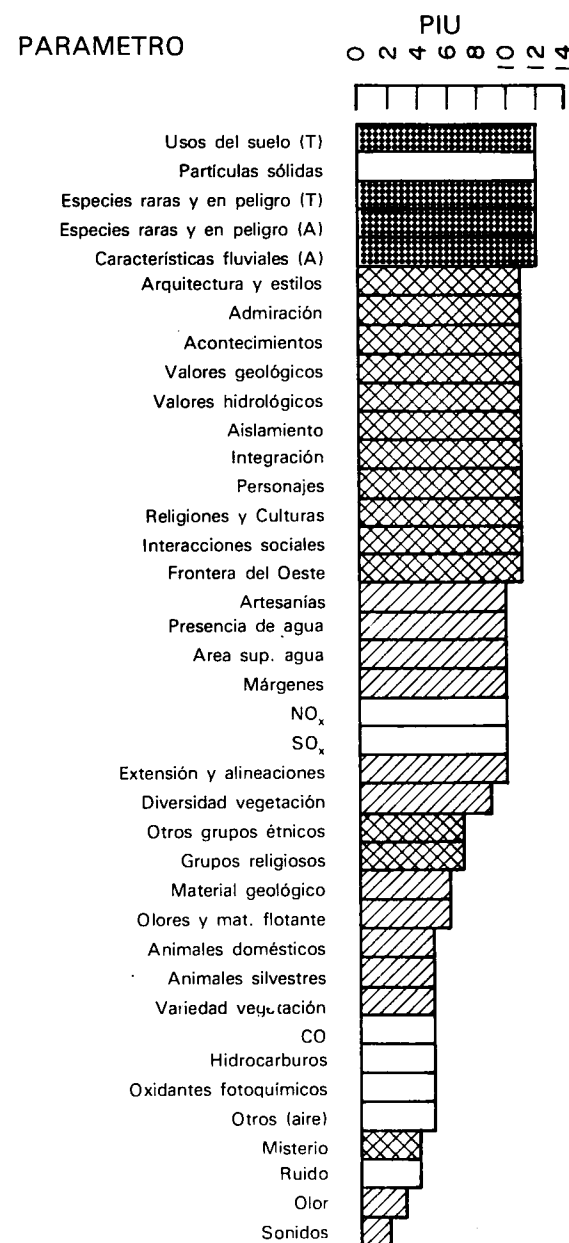


FIGURA 11.—Importancia relativa de los parámetros del modelo Battelle.



### Modelos de predicción

Los modelos de predicción están basados en modelos de difusión de contaminantes en la atmósfera o de dilución de contaminantes en el agua.

Estos métodos efectúan un análisis, bien ajustado si existen datos básicos suficientes y correctos, de la zona afectada por las emisiones o vertidos de uno o varios focos, mediante la modelización de las características básicas de los medios emisor, difusor y receptor, considerando las interrelaciones temporales y espaciales.

Estos modelos suministran amplia información. Por ejemplo, los modelos de difusión atmosférica permiten obtener datos y resultados concretos de los siguientes aspectos:

- Evaluación del impacto ambiental de un foco contaminante de la atmósfera, ya sea de nueva implantación o existente, o de focos múltiples.
- Estudio de las situaciones preoperacionales, o punto cero, para determinar la contaminación de fondo existente en un lugar.
- Determinación de la capacidad de carga —de actividades— de un centro urbano o zona industrial.
- Diseño de redes de vigilancia de la calidad del aire.
- Optimización de altura de chimenea para grandes y medianas instalaciones.
- Predicciones de contaminación potencial.
- Planificación urbana e industrial, en el ámbito local, regional y nacional.

Los modelos de dispersión de contaminantes en el aire se exponen en el capítulo 6 y los modelos de dilución de vertidos líquidos se tratan en el capítulo 7.

En la FIGURA 12 se muestra un diagrama correspondiente al modelo de dispersión.

### CONCLUSIONES

En resumen, puede decirse que las metodologías más empleadas son las de identificación y en el caso de dispersión de contaminantes en el aire

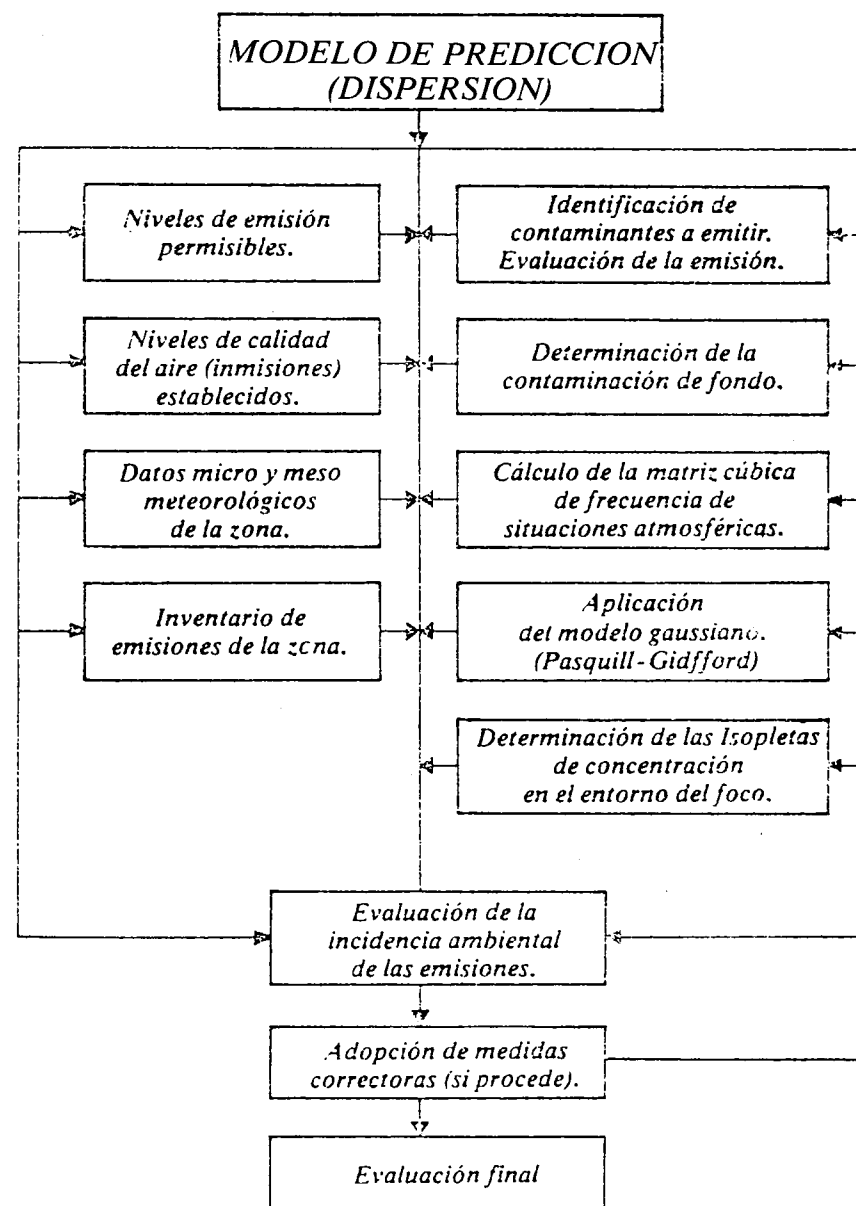


FIGURA 12.—Diagrama correspondiente al modelo de dispersión de contaminantes en la atmósfera.

o en el agua, las de predicción, que son técnicas cuantitativas parciales puesto que sólo analizan alguno de los componentes del medio.

Resumiendo, pues, los métodos de identificación más utilizados son:

- a) Listas de «chequeo», que son listas de efectos ambientales (factores ambientales) e indicadores de impacto.
- b) Las matrices causa-efecto, que relacionan unas listas de acciones humanas con unas listas de factores ambientales, y
- c) diagramas de flujo, que establecen las relaciones de causa-efecto-impacto.

Los métodos de predicción cubren un amplio espectro. Suelen usarse modelos matemáticos, físico-matemáticos o físicos (modelos reducidos), complementados con una serie de ensayos y pruebas experimentales, tomando los datos «in situ». Con todo ello puede realizarse una predicción de efectos y evaluar las alteraciones de biotopo y de la biocenosis del ecosistema que se considera. Generalmente, estas predicciones están basadas en modelos conceptuales de cómo funciona el universo, por lo que resultan adecuados para los impactos geobiofísicos.

Por ejemplo, puede determinarse la dispersión de contaminantes que se emiten por un foco (una chimenea) en la atmósfera y la incidencia que tales emisiones van a tener en la calidad del aire (concentración de contaminantes) a nivel del suelo, en los distintos puntos, en un entorno del foco, pudiéndose establecer tanto la distribución de contaminantes como su frecuencia.

Es preciso para ello disponer de los siguientes datos (que se conocen todos o se pueden medir):

- I) Condiciones climatológicas (vientos y temperaturas) de la zona junto con la información meteorológica diaria y datos históricos de los últimos años.
- II) Topografía de la zona.
- III) Altura geométrica y efectiva de la chimenea (la altura efectiva es la altura geométrica más la sobreelevación del penacho, que se puede calcular).
- IV) Composición del efluente (concentración de contaminantes en la emisión), y

- V) condiciones de emisión del efluente (volumen, velocidad y temperatura de los gases).

Para la interpretación de los resultados cabe utilizar los propios métodos de evaluación o modelos de síntesis y, sobre esa base, puede calcularse la evaluación neta del impacto ambiental y la evaluación global de los impactos.

Es evidente que aún siendo incompletas las metodologías, tampoco tienen un carácter universal. Cada proyecto o acción requiere un tipo de metodología que se adapte al proyecto y a la zona de localización. Por eso se suelen emplear las metodologías «ad hoc», mediante la adopción de una o varias de las técnicas citadas, aunque siempre deben incluir las siguientes fases:

- Identificación de efectos del proyecto o la acción.
- Inventario ambiental (que recogerá los datos del entorno).
- Predicción o cálculo de la magnitud de los efectos.
- Interpretación de los resultados obtenidos.
- Evaluación integrada, en lo posible.
- Comunicación de los resultados al ejecutivo y a la opinión pública (en esta fase son muy útiles las ayudas audiovisuales: diapositivas, mapas, diagramas de flujo, carteles, películas).

## **Sistemática a seguir en la preparación de un estudio de impacto ambiental**

### **ESTUDIO PRELIMINAR DE IMPACTO AMBIENTAL**

Los trabajos suelen comenzar por un estudio preliminar que realiza la Administración responsable de la protección del medio ambiente. Se considera preliminar al estudio que recoge la información existente sobre los diferentes elementos o atributos del medio y sobre el potencial impacto del proyecto, acción o programa.

A partir de este estudio preliminar se determina la extensión y profundidad, y, en su caso, los estudios específicos o especiales que son precisos.

El estudio preliminar se efectúa a partir de los datos del proyecto, suministrados por el promotor de la actividad que se trata de evaluar al Organismo de la Administración encargado de la protección ambiental.

#### **Resumen y datos del proyecto necesarios para la realización del estudio preliminar**

El promotor del proyecto debe facilitar una información que comprenda una descripción general del mismo y específicamente los datos siguientes:

- Nombre del promotor del proyecto.
- Relación de productos a fabricar y capacidad anual estimada.

- Procesos de fabricación, incluyendo diagramas de flujo, con indicación de los puntos en que se producen desechos y residuos, así como los métodos y tecnologías de tratamiento de efluentes previstos.
- Alternativas de localización consideradas y las razones que han motivado la decisión de ubicar el proyecto en el emplazamiento seleccionado.
- Calendario de trabajos señalando la fecha de comienzo de las obras y su terminación, así como la puesta en marcha de la actividad y la vida del proyecto estimada.
- El tipo, características, fuentes de suministro y cantidades de materias primas necesarias, incluyendo el abastecimiento de agua y de energía. Se indicará también el modo de transporte para el acopio de las materias primas.
- Descripción somera del lugar de emplazamiento.
- Las posibles necesidades de nuevas infraestructuras (transporte, abastecimiento de agua y energía, infraestructura sanitaria, nuevas viviendas, servicios médicos, equipamiento comunitario, etc.).
- Creación de empleo previsto. Empleos directos generados por el proyecto y empleos indirectos inducidos por el mismo.

Como es lógico, este resumen del proyecto debe presentarse a la Administración (Central, regional o local, según proceda) antes de comenzar la construcción y antes de que sean concedidas las licencias y autorizaciones necesarias.

Lo más eficaz es que el promotor del proyecto presente al solicitar las licencias y autorizaciones, al mismo tiempo que el proyecto general, un estudio de impacto ambiental de dicha actividad.

En algunas ocasiones se solicita el estudio de impacto porque la Administración no dispone de datos suficientes para decidir, con conocimiento de causa, si es preciso o no un análisis de este tipo. Por ello, es aconsejable presentar toda la información necesaria, en el caso de que no se haya llevado a cabo la E.I.A. por el promotor, como se ha indicado en el párrafo anterior.

Los estudios de impacto ambiental pueden tener una duración entre tres meses y dieciocho meses; la mayoría tienen una corta duración y sólo en caso de tratarse de grandes proyectos ubicados en zonas complejas se alarga el estudio más de un año.

Una vez efectuado el estudio preliminar se conoce el orden de magnitud y la importancia y extensión de los principales efectos del proyecto o actividad sobre el medio.

Según se trate de pequeños o grandes impactos se procede y opera de un modo u otro.

#### *a) Proyectos o acciones con impacto pequeño*

En este caso conviene llevar a cabo las siguientes operaciones, y todo ello de forma muy sencilla, mediante el estudio de estos aspectos:

- I) Características o naturaleza del proyecto o propuesta.
- II) Condiciones y características del territorio afectado por el proyecto.
- III) Salvaguardas incluidas en la propuesta para el control de la contaminación y protección del entorno ambiental.
- IV) Aspectos del proyecto que pueden alterar el medio ambiente.
- V) Aspectos de la propuesta que pueden afectar adversamente al medio ambiente y razones que expliquen la imposibilidad de evitar esos efectos.

Otro caso muy sencillo, y que se presenta con mucha frecuencia, es el de proyectos con un determinado impacto físico perfectamente conocido y controlable. En tal caso, basta comprobar si existen las medidas correctivas oportunas, si son idóneas y suficientes, y si está garantizado su funcionamiento continuo.

Pongamos como ejemplo una fábrica de cemento o una central térmica de carbón que contamina fuertemente la atmósfera o una industria de productos lácteos o conservera que contaminan fuertemente el agua si no tratan, antes del vertido, sus aguas residuales. Como estos procesos y su potencial contaminante son muy conocidos y las medidas correctivas —captación de polvos y depuración de gases y tratamiento de aguas y residuos— también, la evaluación puede reducirse a verificar si las medi-

das correctivas se aplican; a asegurarse de que no se van a sobrepasar unos límites tolerables, y a imponer en el procedimiento administrativo de autorización unas condiciones de protección ambiental, en los vertidos.

Debe preverse también un mecanismo de seguimiento y control posterior eficaz.

#### *b) Proyectos o acciones con grandes impactos*

Cuando se trata de proyectos con grandes impactos, la evaluación debe incluir lo siguiente:

- I) Descripción general del proyecto o acción y justificación del mismo.
- II) Alternativas.
- III) Previsiones a medio y largo plazo.
- IV) Descripción del proyecto en sus aspectos físicos, con una predicción de la naturaleza y magnitud de los efectos ambientales (positivos y negativos).
- V) Descripción de las salvaguardas y medidas correctivas previstas para reducir o evitar la contaminación.
- VI) Identificación de los problemas humanos.
- VII) Estudio del entorno ambiental: factores sociopolíticos, económicos y geobiofísicos; incluyendo un inventario ambiental.
- VIII) Lista de indicadores de impacto, así como métodos utilizados para determinar sus escalas de magnitud y pesos relativos.
- IX) Evaluación de las magnitudes de los indicadores de impacto y del impacto total del proyecto y sus alternativas.

La evaluación puede terminar aquí o continuar con dos pasos más, que serían:

- X) Recomendaciones para la aceptación de acciones correctivas, o desestimación de una o varias alternativas.
- XI) Propuestas o recomendación de los métodos de inspección y control a seguir durante la construcción del proyecto y una vez que el mismo esté en funcionamiento.

La documentación final que se elabore como resumen de todo el estudio no debe ser demasiado simple, pero menos aún complicada. Debe ser suficiente para que a la vista de ella se pueda proceder a la toma de decisiones. El informe final debe ser breve, concreto y sistematizado.

En la FIGURA 13 se muestra un esquema de la secuencia a seguir en los Estudios de Impacto Ambiental, en el caso de proyectos con un impacto importante.

A continuación se detalla ampliamente el contenido de un estudio completo.

### **DESCRIPCION DEL PROYECTO O ACCION**

El proyecto o acción, objeto de la evaluación, debe describirse con detalle en sus tres fases: diseño, construcción y operación.

Debe exponerse claramente el tipo de obra; sus objetivos; las áreas afectadas y las beneficiadas; las alternativas consideradas para la selección del proyecto final, ubicación del proyecto, costos y calendario de actividades.

Se incluirá un croquis detallado referente a la localización del proyecto, medios y vías de comunicación, poblaciones más cercanas, situadas en un radio de 20 km.

La fase de construcción se describirá comenzando por los trabajos de acondicionamiento de la zona. Se indicarán las necesidades de materiales, equipo y maquinaria a utilizar. Recursos energéticos y recursos humanos, especificando la mano de obra local y la foránea.

Deberán señalarse los tipos de desechos sólidos y líquidos generados en la fase de construcción y los depósitos de residuos, así como las probables emisiones de polvos.

En la fase de operación se describirán los procesos de fabricación, especificando las principales unidades del área de procesos y servicios. Se incluirán los diagramas siguientes:

- Diagramas de flujo de las operaciones de proceso y servicios.
- Diagrama de balance de materiales y balances de materiales y energía.
- Diagrama de puntos en que se originan efluentes líquidos, residuos y gases contaminantes, así como los puntos de vertido y emisión.

Se describirán también las medidas de control de la contaminación del aire, agua y suelo y protección de los recursos naturales, específicamente los siguientes capítulos:

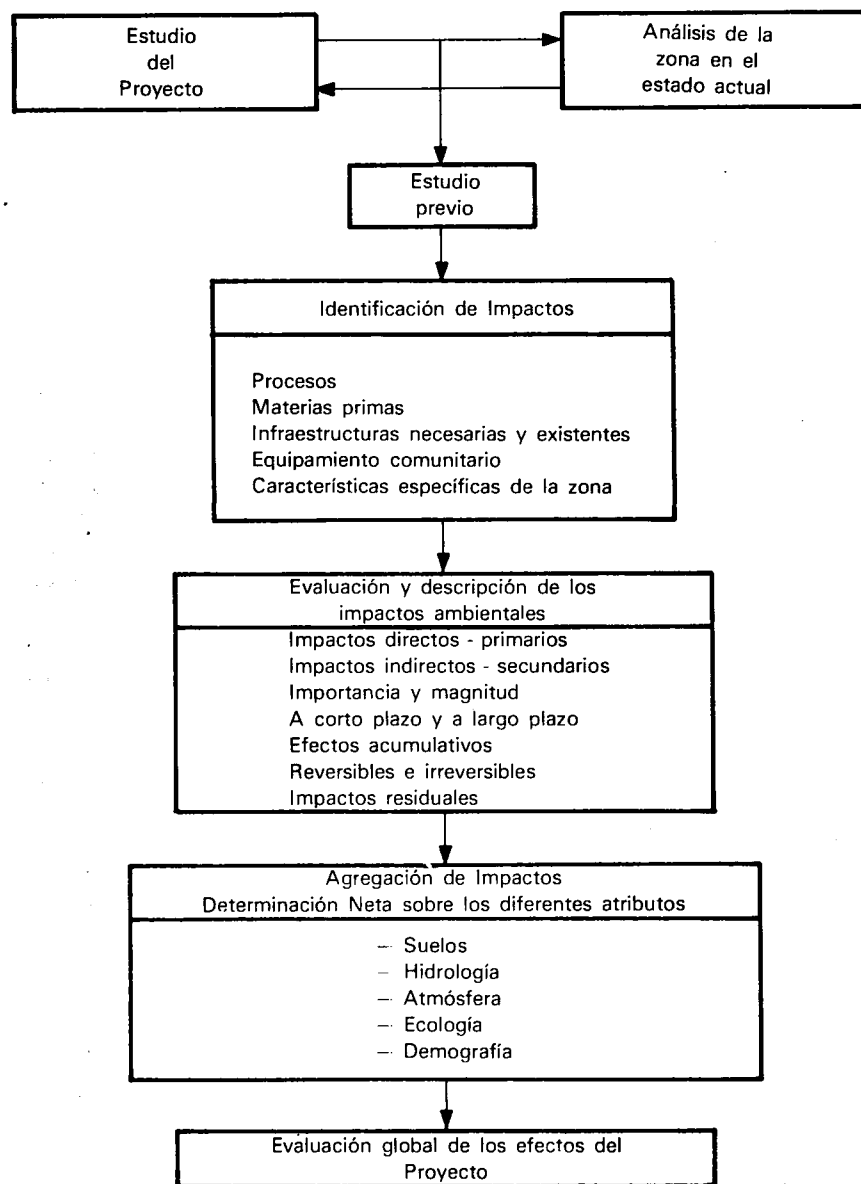


FIGURA 13.—Secuencia de la E.I.A.

- Generación de contaminantes, medidas correctoras y emisiones a la atmósfera.
- Corrientes de aguas residuales y sus tratamientos.
- Residuos tóxicos, si los hay.
- Tratamiento de residuos sólidos.
- Conservación del suelo.
- Protección zonas verdes y ecosistemas singulares.
- Otros.

### Accidentes y riesgos

Debe hacerse un estudio de los accidentes y riesgos que potencialmente pueden afectar al entorno, así como los sistemas para evitarlos o reducirlos. La importancia de los accidentes y riesgos como impactos ambientales se determinan considerando diferentes aspectos, especialmente los siguientes:

- Inflamabilidad y explosiones.
- Toxicidad aguda inmediata y a largo plazo.
- Volatilidad, olor e inflamabilidad.
- Daño a sistemas biológicos.
- Daño a poblaciones o comunidades bióticas.
- Acumulatividad en cadenas tróficas.
- Persistencia.

Se informará sobre la tecnología de control de accidentes y riesgos:

- Equipo disponible para hacer frente a los accidentes (explosiones e incendios).
- Equipo para prevención de fugas o derrames.
- Equipo de seguridad en la rotura de tuberías.
- Otros.

Si procede, se considerarán los programas de rehabilitación de la obra y de las áreas perturbadas y los planes de uso del área después de concluida la vida útil del proyecto.

### Alternativas al proyecto propuesto

El principal objetivo de este capítulo es presentar alternativas al proyecto propuesto, enfocadas a eliminar o minimizar los impactos adversos ya identificados y evaluados anteriormente.

La presentación de alternativas se hará de tal forma que no se requiera un amplio análisis científico y técnico. Es suficiente elaborar un resumen de éstas y de las consideraciones que han sido analizadas para cada una de ellas, teniendo en cuenta los aspectos ambientales físicos y los socio-económicos.

En general, las alternativas pueden ser:

- No llevar a cabo el proyecto, por tener efectos muy significativos sobre el medio ambiente.
- Localización del proyecto en otro emplazamiento.
- Modificaciones en el diseño original, en cuanto a capacidad, procesos u otros aspectos.

### Estado inicial del medio. Descripción del entorno

Esta parte del estudio describe el estado actual del medio, fase preoperacional o estado cero y cómo sería en un futuro próximo (5 años) si el proyecto o acción propuesto no se llevara a cabo.

Dicha descripción tiene como objeto disponer de una visión general de las condiciones físicas, biológicas y socioeconómicas del área donde se llevará a cabo el proyecto, lo cual permitirá integrar una base comparativa para detectar, describir y evaluar los posibles impactos producidos por la implantación del proyecto en la zona, y sus repercusiones sociales, económicas y ambientales en las áreas de influencia.

### Descripción de factores básicos del medio ambiente

#### 1. *Clima y calidad del aire*

- 1.1. Temperatura extrema y promedios mensuales.
- 1.2. Humedad relativa.
- 1.3. Promedio de precipitación anual.

- 1.4. Nevadas, heladas y tormentas excepcionales; magnitud y frecuencia.
- 1.5. Vientos: direcciones y velocidades (incluyendo condiciones especiales).
- 1.6. Calidad del aire. Describir las cargas existentes de contaminantes (por ejemplo: partículas, óxidos de nitrógeno y azufre, monóxido de carbono, hidrocarburos y oxidantes fotoquímicos). Aquellos contaminantes que puedan ser emitidos por fuentes del proyecto propuesto deben recibir atención especial.

Si se dispone de datos deben darse los valores de la contaminación de fondo y las tendencias de la calidad del aire.

#### 2. *Relieve*

- 2.1. Patrones de drenaje e inundaciones. Indicar niveles para períodos de retorno de 10 y 20 años.
- 2.2. Pendientes.
- 2.3. Formaciones geológicas (incluyendo estructuras).
- 2.4. Litología.
- 2.5. Recursos minerales aprovechables.

La escala de las cartas de formaciones geológicas y litológicas será 1:50.000.

#### 3. *Suelos*

- 3.1. Mapa de suelos.
- 3.2. Profundidad del estrato rocoso.
- 3.3. Drenaje vertical y horizontal.
- 3.4. Estructura.
- 3.5. Textura.
- 3.6. Porosidad.
- 3.7. pH.
- 3.8. Material parental.
- 3.9. Coeficiente de erosión y de erodabilidad.
- 3.10. Uso actual del suelo.
- 3.11. Uso potencial.

La escala de mapas será 1:50.000.

#### 4. *Hidrología*

##### 4.1. Descripción de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos más importantes del área de estudio.

- 4.1.1. Área de la cuenca, forma y pendiente.
- 4.1.2. Coeficiente de escurrimiento.
- 4.1.3. Evaporación.
- 4.1.4. Cuenca geohidrológica.
- 4.1.5. Balance hidrológico.
- 4.1.6. Para cuerpos de agua superficiales se incluye mapa hidrológico y variación anual del caudal de las principales corrientes.

##### 4.2. Calidad del agua.

Descripción de la calidad de los cuerpos considerados en el punto anterior haciendo énfasis en los relacionados con el proyecto, especialmente los siguientes parámetros:

- 4.2.1. Turbidez.
- 4.2.2. Sólidos suspendidos.
- 4.2.3. Sólidos disueltos.
- 4.2.4. Temperatura.
- 4.2.5. Oxígeno disuelto (OD).
- 4.2.6. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- 4.2.7. Demanda química de oxígeno (DQO).
- 4.2.8. Sustancias tóxicas.
- 4.2.9. Coliformes fecales.
- 4.2.10. Describir uso actual del agua superficial y subterránea.

#### 5. *Problemas de calidad del agua.*

Describir los problemas existentes y futuros previsibles señalando fuentes puntuales de contaminación.

- 5.1. Industrial.
- 5.2. Municipal.
- 5.3. Desechos combinados.
- 5.4. Drenes agrícolas.
- 5.5. Selvicultura.
- 5.6. Minas o drenaje de minas.
- 5.7. Intrusión salina.
- 5.8. Migración subsuperficial de contaminantes.
- 5.9. Eutrofización.

#### 6. *Flora*

- 6.1. Abundancia.
- 6.2. Especies dominantes.
- 6.3. Introducción de especies exóticas.
- 6.4. Asociaciones únicas.
- 6.5. Especies raras y en peligro de extinción.
- 6.6. Habitats relacionados con alta productividad de flora y fauna.

#### 7. *Fauna*

- 7.1. Silvestre migratoria (terrestre y arbórea). Patrones migratorios y períodos de permanencia.
- 7.2. Silvestre nativa (terrestre, acuática y arbórea).
  - 7.2.1. Invertebrados.
  - 7.2.2. Vertebrados.
  - 7.2.3. Plancton.
- 7.3. Barreras.
- 7.4. Corredores.
- 7.5. Principales cadenas tróficas.
- 7.6. Actividades cinegéticas (temporadas y especies permitidas).
- 7.7. Especies raras y en peligro de extinción.

## 8. Hombre

Aspectos socioculturales.

8. 1. Población total y su tendencia.
8. 2. Estructura social.
8. 3. Patrones de vida.
8. 4. Infraestructura y servicios.
8. 5. Movimientos migracionales (emigración e inmigración).
8. 6 Educación.
8. 7 Salud pública.
8. 8 Patrimonio histórico-artístico.
8. 9 Sitios históricos o arqueológicos.
- 8.10 Sitios de interés turístico.

Aspectos económicos.

- 8.11. Población económicamente activa.
- 8.12. Ramas de actividad.
- 8.13. Niveles de ingreso.

## 9. Identificación de áreas ambientalmente sensibles

Describir y mostrar en una escala 1:200.000, las siguientes áreas que puedan ser «significativamente» afectadas por la implantación del proyecto; así como criterios utilizados para la descripción.

- 9.1. Zonas húmedas.
- 9.2. Areas de recarga de acuíferos.
- 9.3. Bosques y tierras arboladas.
- 9.4. Habitats de especies raras o en peligro de extinción.
- 9.5. Parques naturales.
- 9.6. Areas geológicas únicas.
- 9.7. Areas públicas recreativas.

## Identificación de los impactos ambientales

Los impactos se van identificando al examinar detalladamente los procesos de producción, las materias primas necesarias, los servicios y transportes que requiere y los condicionamientos que el proyecto impone o exige del lugar de emplazamiento.

Según las características, la importancia y tipo de proyecto o acción primarán más unos aspectos que otros, pero en líneas generales se consideran los parámetros citados, con más o menos extensión.

Los impactos originados por las operaciones del proceso se determinan estudiando, a través de los diagramas de flujo y de balances de materiales, las corrientes de efluentes y residuos que se emitirán a la atmósfera, al medio acuático y al medio terrestre. El proyecto debe incluir o se ha de elaborar un diagrama de descargas y corrientes de efluentes y vertidos.

En este estudio hay que tener en cuenta la legislación y las limitaciones impuestas por la Administración Central, Regional o Local, así como los métodos de control y técnicas para reducir la contaminación adoptados (filtros, plantas de tratamiento de aguas, reciclado de subproductos y residuos, ahorro de energía y agua, tratamiento de residuos, etc).

Esta es la fase inicial de la identificación de impactos. Posteriormente se profundiza en esta operación y se analizan las interrelaciones, con lo que se entra ya en la fase de evaluación. La FIGURA 14 muestra la secuencia a seguir en estos trabajos.

Las materias primas a utilizar deben detallarse con toda claridad y concreción, tanto cualitativa como cuantitativamente. Debe acompañarse también un balance de materiales y un balance de energía.

En la FIGURA 15 se muestra un diagrama de los flujos de energía en el sector del refino de petróleo. Deben especificarse bien los consumos de combustibles y sus características.

Como puede apreciarse el consumo de energía funcional es el siguiente:

	%
Procesos térmicos .....	71,30
Generación de vapor y electricidad .....	20,10
Transporte y compresión de fluidos .....	3,70
Servicios auxiliares .....	3,90
Varios y pérdidas .....	1,00
<b>TOTAL .....</b>	<b>100,00</b>

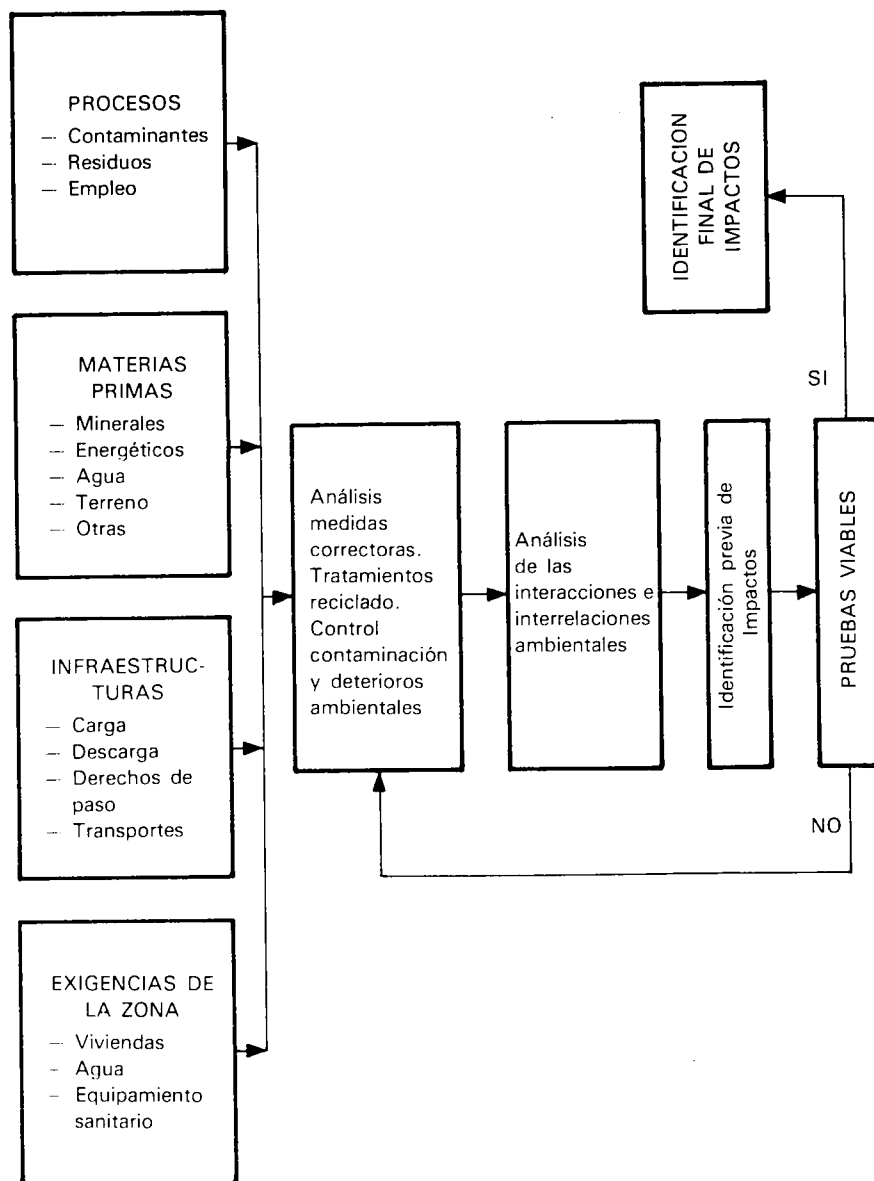


FIGURA 14.—Procedimientos para la identificación de los impactos ambientales. Secuencia.

Esta distribución funcional corresponde en equipos:

	0%
Hornos .....	71,30
Calderas .....	20,10
Máquinas y varios .....	8,60
TOTAL .....	100,00

FUENTE: Centro de Estudios de la Energía. Ministerio de Industria y Energía.

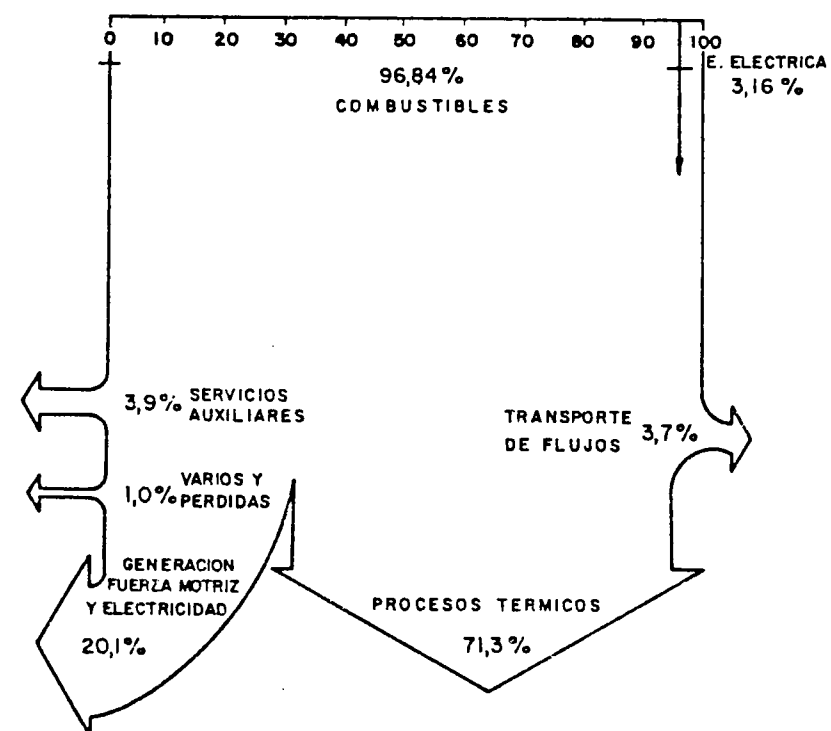


FIGURA 15.—Diagrama tipo Sankey de los flujos energéticos del sector de refino de petróleo. Obsérvese el consumo de combustibles y la incidencia de los procesos térmicos que, por ahorro energético y reducción de contaminación atmosférica, es preciso optimizar.

En forma de combustible, quemado directamente en hornos y calderas, se consume un 91,4 por 100 de la energía utilizada en refinerías, de lo que se deduce que el rendimiento energético del sector estará estrechamente ligado al rendimiento de estos equipos.

De los análisis realizados por el Centro de Estudios de la Energía se infiere que parece posible conseguir ahorros superiores al 15 por 100 en el consumo de combustibles, adoptando una serie de medidas.

Desde el punto de vista de la contaminación los resultados de estas acciones de conservación de energía son aún más positivos, puesto que la reducción de emisión de contaminantes ( $C_n H_m$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $SO_2$ , partículas y  $CO_2$ ) puede reducirse en más de un 30 por 100, lo que supone una extraordinaria minimización del impacto sobre la atmósfera.

En la descripción de materias primas deben incluirse los minerales, si los hay y otros recursos naturales, el agua, aditivos y los derivados que se produzcan de los recursos utilizados, así como los residuos obtenidos, indicando los sistemas de tratamiento y depósito final de los residuos sólidos, efluentes líquidos y gaseosos. Las operaciones de manejo de las materias primas deben incluir el transporte y almacenamiento de las mismas.

Un tercer apartado se refiere a las necesidades de infraestructuras vial y transporte, incremento de tráfico, posibles molestias debidas al mismo, derechos de paso, etc.

Las exigencias del proyecto respecto al lugar de emplazamiento son también muy importantes, por ejemplo el terreno utilizado (si se detrae de otras alternativas de uso, como las agrícolas), los efectos de la construcción de la planta u obra, la pérdida de territorios de fauna y flora autóctona y el efecto sobre estas especies, la degradación estética, la pérdida de valor de los terrenos y propiedades del área, los requerimientos de agua, la utilización de equipamiento comunitario, etc.

Igualmente hay que examinar los accidentes o derrames de productos previsibles, operando con datos estadísticos de fabricaciones y manejo de productos iguales o semejantes.

Finalmente hay que identificar los impactos sobre las áreas más sensibles, física, ecológica y socialmente y los que pueden producirse por colisión con otros usos del territorio.

## Evaluación

Una vez identificados los diferentes impactos, se estudian debidamente por el equipo multidisciplinar que efectúa la E.I.A., y se procede a descri-

birlos sistemáticamente, con lo que se inicia la fase de la evaluación propiamente dicha.

La evaluación se basa en la consideración, primero, de cada impacto por separado, analizando su significado, magnitud, extensión, efectos directos e indirectos, efectos acumulativos, efectos a corto y a largo plazo y su reversibilidad o no.

Debe explicarse la fase en que se genera el impacto y el factor o elemento ambiental afectado.

Las metodologías a utilizar suelen ser elegidas por el equipo que efectúa las E.I.A. El único criterio común a todas ellas es que sea sencilla de entender, económica, precisa y reproducible.

Es evidente que la misma metodología y procedimientos no es apta para diferentes proyectos. No es lo mismo un embalse que una refinería de petróleo; una fábrica de cemento o un plan de reforestación o de desarrollo agrario.

Cada proyecto da lugar a residuos, contaminantes o empleo de recursos diferentes y afecta en mayor o menor medida a los factores económicos, sociales, culturales o biológicos.

Por tanto, según la naturaleza e incidencia del proyecto en el entorno se trabajará más en un área que en otra.

También son fundamentales las características y condiciones del lugar de emplazamiento. Según que se trate de una zona u otra, el estudio tendrá un enfoque u otro.

## Agregación de los impactos

Una vez que se han identificado, clasificado, discutido y valorado los diferentes impactos, el equipo de trabajo, integrado por profesionales expertos en distintas disciplinas, procede a su examen conjunto y a establecer las interrelaciones y las condiciones específicas de las relaciones de causalidad del proyecto con respecto al medio (del que previamente se ha efectuado una descripción y estudio profundo).

En este análisis global se analizan los impactos con respecto al medio analizando las consecuencias de la construcción y funcionamiento del proyecto y lo mismo sin proyecto, a corto plazo y a largo plazo (diez años), con el fin de obtener el impacto neto.

IMPACTO NETO = *Situación del medio en la fase preoperacional.*  
— *Situación del medio con el proyecto.*

## MEDIDAS CORRECTORAS O DE ATENUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL

### Criterios

En función de los impactos identificados y evaluados se preverán o se propondrán —si no se han considerado en la fase de diseño del proyecto— medidas correctoras o de atenuación de los mismos.

Las medidas dependerán de las condiciones de la zona de emplazamiento y de las características del proyecto. En una primera etapa se atenderán las siguientes condiciones:

- Control de emisiones a la atmósfera.
- Control de emisiones a los cuerpos de agua y zona costera, si procede.
- Control de vertido de residuos tóxicos y persistentes.
- Límites de ruido.
- Medidas preventivas para la conservación de los suelos.
- Uso racional de recursos naturales.
- Límites en la explotación y uso de determinados recursos naturales.
- Protección de ecosistemas sensibles.
- Defensa de áreas de reserva de flora y fauna de la zona.
- Ordenación de la zona en lo que se refiere a planeamiento urbanístico.
- Otros.

La propuesta de medidas correctoras se efectuará sopesando muy bien los costos de inversión y los de mantenimiento y operación de las mismas, de modo que pueda garantizarse su funcionamiento y que la repercusión de estos costos en los precios del producto o servicios sean aceptables.

### Impactos residuales y adversos que no pueden ser evitados

Finalmente, se describirán aquellos impactos que, pese a la aplicación de otras alternativas y medidas correctoras, no pueden ser eliminados en su totalidad, debido a limitaciones de tecnología, costos excesivos, o a incompatibilidad con los objetivos del proyecto.

En la descripción de cada uno de estos impactos residuales deberá explicarse el efecto en los elementos del medio ambiente, así como los efec-

tos producidos por impactos adversos que, por la propia naturaleza del proyecto no pueden ser evitados, indicando las acciones que los originan.

## ORGANIZACION Y SEGUIMIENTO DE LAS E.I.A.

En cada país se ha seguido un esquema organizativo diferente, según su estructura y sobre todo, dependiendo de su marco institucional. La Organización Administrativa, la participación del público, la extensión y profundidad del estudio, las exigencias legales, los costos y otros factores semejantes marcan unos esquemas organizativos u otros.

El capítulo 10 recoge los aspectos relacionados con la legislación y organización administrativa en diferentes países.

Pero tan importante como una buena ejecución de la E.I.A., y una valoración adecuada de la misma por los diferentes departamentos involucrados, es el seguimiento de la misma.

Especialmente es necesario verificar que las disposiciones y medidas de protección previstas en la E.I.A., son realizadas en la construcción, puesta en marcha y funcionamiento del proyecto.

Asimismo hay que asegurar que los impactos que se van produciendo, afectando a alguno de los atributos del medio, son conformes a las previsiones que se realizaron en la evaluación y que se están controlando o, en caso contrario, prever las acciones y medidas correctivas.

De ahí la necesidad de incluir en los programas de desarrollo regional o local, desde el comienzo, una red de vigilancia de la calidad ambiental, integrada en un centro local o regional, que permite seguir y controlar los impactos ambientales de las obras y plantas construidas.

En la Comunidad Económica para Europa de Naciones Unidas (CE-PE), se ha estudiado la posible implantación de un análisis post - proyecto (APP) en el proceso de evaluación ambiental, con el fin de efectuar un seguimiento de los resultados, dificultades de aplicación, encaje de las metodologías, ajuste de los modelos, integración en los procedimientos administrativos, problemas jurídicos y otros aspectos relacionados con la protección ambiental, para perfeccionar el empleo de estas técnicas de evaluación ambiental.

Puesto que los indicadores de impacto son el punto más delicado del proceso de evaluación, se indican a continuación las bases del análisis respecto a los indicadores de calidad ambiental en lo que se refiere a indicadores de calidad de la atmósfera, de las aguas y ecológicos.

## El impacto ambiental sobre la calidad del aire

La atmósfera constituye el principal mecanismo de defensa de la Tierra como protección de las fuertes radiaciones procedentes del Sol. Se han necesitado miles de millones de años para que se formara.

La atmósfera terrestre es una envoltura gaseosa con una altura de unos 2.000 km. La densidad de los gases desciende con la altitud, de tal manera que la mitad de la masa de la atmósfera se encuentra en la capa primera, hasta una altura de unos 5 Km. Teniendo en cuenta que la atmósfera terrestre tiene una altura de unos 2.000 km se infiere que los gases que constituyen esta envoltura son muy ligeros, de muy poca densidad.

La temperatura varía también con la altitud y esto permite dividir la atmósfera en capas, que se denominan: troposfera, tropopausa, estratosfera, estratopausa, mesosfera, mesopausa y termosfera.

La capa más importante es la troposfera porque esa zona contiene el aire que respiramos y en ella también se producen los fenómenos meteorológicos que determinan el clima.

La troposfera se caracteriza porque la temperatura desciende con la altura, aproximadamente 1 °C cada 100 metros, hasta un punto en que el gradiente de temperatura negativo cambia, manteniéndose constante la temperatura en un intervalo de altitud, que se denomina tropopausa. En la zona tropical, la tropopausa tiene una altura de unos 16 - 18 km.

Después se encuentra la estratosfera: es semejante a la troposfera salvo el hecho de que el gradiente de temperatura es inverso, aumentado la temperatura entre 10 y 20 °C en 60 km.

En la estratosfera hay muy poco vapor de agua y allí no tienen lugar los procesos de lluvia.

A la estratosfera sigue la mesosfera, en la que la temperatura disminuye también al aumentar la altura, alcanzando  $-70^{\circ}\text{C}$ . El incremento de temperatura en la estratosfera se debe a la absorción por el ozono de las radiaciones ultravioletas e infrarrojas del sol. La concentración del ozono en la mesosfera decrece rápidamente con la altura, por lo que la temperatura disminuye también debido a que se reduce mucho la absorción de la radiación solar por el ozono.

La termosfera o ionosfera, es la capa más alejada de la Tierra que se conoce. Se caracteriza porque en ella la temperatura aumenta con la altura. A 200 km. sobrepasa los  $500^{\circ}\text{C}$  y en las capas altas, a 700 u 800 km., la temperatura es mayor de  $1.000^{\circ}\text{C}$ . Este aumento de la temperatura se debe a la absorción de la radiación solar ultravioleta por el oxígeno molecular  $\text{—O}_2\text{—}$  y por el nitrógeno.

En la termosfera el aire está ionizado por la incidencia de la radiación solar.

El aire es una mezcla de una serie de elementos, no un compuesto y está constituido por dos grupos de componentes, unos constantes y otros accidentales.

Los componentes constantes son el nitrógeno, el oxígeno y los gases inertes o nobles, cuyas proporciones son prácticamente invariables. Hay otros dos componentes que están siempre presentes pero cuya cantidad es variable según el lugar y el tiempo, que son, el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y el vapor de agua. Los componentes accidentales son los contaminantes.

El nitrógeno, en condiciones ordinarias, es inactivo. El nitrógeno diluye el oxígeno del aire, moderando la intensidad de su acción. El nitrógeno es también un elemento esencial para la vida de las plantas pero son muy pocas las que pueden asimilarlo en estado libre.

El oxígeno es el componente activo de la atmósfera. Es aspirado por los animales y por los hombres y la corriente sanguínea lo lleva de los pulmones a los tejidos, donde sirve para oxidar los hidratos de carbono y producir energía.

De la atmósfera se extraen grandes cantidades de oxígeno para los procesos de combustión, para los de oxidación y para la descomposición de la materia orgánica, por lo que si no se repusiera este oxígeno tomado, la proporción de oxígeno en el aire se iría reduciendo. Sin embargo, esto no se produce porque las plantas emiten a la atmósfera grandes cantidades de oxígeno debido al proceso de la fotosíntesis, mediante el cual las plan-

tas —en presencia de la luz solar y con agua— absorben dióxido de carbono y sintetizan hidratos de carbono —tales como azúcares, almidón, celulosa y desprenden oxígeno. La proporción de oxígeno en el aire se mantiene prácticamente constante.

Con el  $\text{CO}_2$  sucede algo semejante en cuanto al equilibrio de sus concentraciones.

Todo lo anterior es cierto si no se producen demasiadas emisiones de estos compuestos, pero actualmente hay una serie de riesgos, como el de la excesiva producción de  $\text{CO}_2$  en los procesos industriales de combustión, que pueden afectar al clima en el planeta.

En la troposfera el vapor de agua alcanza, en algunos puntos, cerca de un 4 por 100 en volumen, y en otros puntos prácticamente no existe.

La presencia de ozono en la atmósfera varía enormemente. Se concentra principalmente en la estratosfera.

## CONTAMINANTES DE LA ATMOSFERA

### Contaminación atmosférica

Se denomina contaminación a la presencia en el aire de sustancias o formas de energía que alteran la calidad del aire, de modo que implique riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza.

Las tres fuentes principales de contaminación atmosférica son:

- Emisiones procedentes de los gases de escape de los vehículos.
- Emisiones debidas a las calefacciones.
- Emisiones derivadas de los procesos industriales.

De todas ellas, las de mayor significación son las últimas, las industriales, por el número de focos, por el volumen de sus emisiones y por el tipo y cantidad de contaminantes.

¿Cuáles son los principales contaminantes de la atmósfera?

El Grupo Intergubernamental sobre vigilancia del Medio, de las Naciones Unidas, seleccionó los contaminantes prioritarios indicadores de la calidad del aire, de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) La gravedad de los efectos reales posibles sobre la salud y el bienestar del hombre y sobre el clima, o sobre los ecosistemas terres-

tres o acuáticos, teniendo en cuenta la estabilidad de los ecosistemas en cuestión.

- b) La persistencia y resistencia a la degradación en el medio ambiente, así como la acumulación en el hombre y la cadenas alimentarias.
- c) La posibilidad de que la transformación química en los sistemas físicos y biológicos origine sustancias secundarias más tóxicas o más perjudiciales que el compuesto original.
- d) Omnipresencia o movilidad.
- e) Frecuencia y magnitud de la exposición.
- f) El posible valor de la información obtenida para evaluar el estado del medio.
- g) Posibilidad de utilizarlo, por su distribución generalizada, para realizar mediciones uniformes dentro de un programa mundial, regional o subregional.

Con estos criterios se eligieron, para la Red Mundial de Vigilancia, los siguientes contaminantes del aire:

- Anhídrido sulfuroso,  $\text{SO}_2$ .
- Partículas en suspensión.
- Óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ .
- Ozono,  $\text{O}_3$ .
- Plomo,  $\text{Pb}$ .
- Monóxido de carbono,  $\text{CO}$ .
- Anhídrido carbónico,  $\text{CO}_2$ .
- Asbestos.
- Hidrocarburos reactivos.

Generalmente se opera con menos parámetros. Los más utilizados son:  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{C}_m\text{H}_m$  y partículas sólidas, en suspensión y sedimentables.

#### Indicadores de calidad atmosférica

La calidad del aire basada en criterios higiénico-sanitarios y de protec-

ción del medio natural, se determina midiendo los niveles de inmisión de contaminantes en la atmósfera y en algunos casos, las emisiones.

Se entiende por nivel de emisión, la concentración máxima admisible de cada tipo de contaminante de los vertidos a la atmósfera, medida en peso o en volumen. El nivel de emisión puede también venir fijado por el peso máximo de cada sustancia contaminante vertida a la atmósfera sistemáticamente, en un período de tiempo determinado, o por unidad de producción.

En cuanto a los niveles de inmisión, —denominados en España valores de referencia de la calidad del aire y en Estados Unidos, standards de calidad del aire—, se entiende como tales a los límites máximos tolerables de presencia en la atmósfera de cada contaminante, aisladamente o asociado a otros.

En España la legislación sobre contaminación atmosférica establece unos criterios de calidad del aire para los siguientes contaminantes:  $\text{SO}_2$ , partículas en suspensión, mezclas de  $\text{SO}_2$  y partículas sólidas, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, plomo, cloro, cloruro de hidrógeno, fluoruro de hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, sulfuro de carbono y partículas sedimentables.

Esta legislación —Decreto 833/1975 que desarrolla la Ley 38/1972 de protección del Ambiente Atmosférico— en su Anexo I establece unos valores de referencia de la calidad del aire (niveles de inmisión) para situaciones admisibles y para situaciones de emergencia de primer y segundo grado y emergencia total, en zonas contaminadas.

En los Estados Unidos de América hay standards nacionales de calidad del aire, para los siguientes contaminantes: partículas en suspensión,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  y oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono.

Los niveles de emisión tolerables no son uniformes para todas las actividades, ya que en cada una de ellas varían las características del proceso, materias primas utilizadas, condiciones de las instalaciones y la composición de los efluentes.

Además de indicadores físicos y químicos se emplean también los biológicos y bioquímicos.

Los indicadores biológicos y bioquímicos están siendo utilizados desde hace años para evaluar la calidad ambiental. Existe una serie de ventajas intrínsecas de los indicadores biológicos frente a los análisis químicos tradicionales, ya que los primeros responden a gran número de compuestos y además se pueden observar en ellos los aspectos acumulativos de los distintos compuestos a lo largo del tiempo. Su principal ventaja, además

de las ya señaladas, es que los bioindicadores miden directamente los parámetros requeridos en un momento dado.

El número y tipo de bioindicadores es muy extenso, y se pueden clasificar de la siguiente manera:

Indicadores biológicos: Organismos.

Indicadores bioquímicos	Tejidos y órganos Cultivos celulares	Experimentación «in vivo»
	Preparaciones celulares	Experimentación «in vitro»

Por medio de estos indicadores, podemos observar, tanto aspecto biológicos —crecimiento o muerte de los organismos, tejidos o células, como aspectos bioquímicos, como cambios químicos o enzimáticos.

A pesar de que los indicadores biológicos ofrecen unos resultados más fiables que los obtenidos por medio de indicadores químicos, presentan una serie de desventajas económicas, ya que requieren mayores inversiones, y por otra parte, necesitan más tiempo para poder obtener datos reales que los métodos químicos. Por ello se utilizan los indicadores bioquímicos, considerando entre éstos los tejidos animales y vegetales, la sangre, y los preparados y cultivos celulares.

En general, todavía se sigue operando con indicadores físicos y químicos para determinar la calidad del aire.

### Dispersión de contaminantes. Condiciones meteorológicas

La atmósfera ha sido siempre un receptor de contaminantes pero también dispone de fuertes mecanismos para dispersar y eliminar la contaminación. La atmósfera no es una masa de gases en reposo sino una capa gaseosa fluida y turbulenta, que se mueve en el espacio y en el tiempo con intensidad variable.

Hay muchos procesos que eliminan contaminantes, como la absorción foliar, la precipitación y absorción por el suelo y por los cuerpos de agua —continentales y marítimos—, el arrastre de los mismos por la lluvia y nieve y numerosas reacciones químicas ambientales, que dan origen a la modificación de diferentes compuestos. Estos procesos dependen de las condiciones meteorológicas.

La transferencia de contaminantes y las reacciones entre los mismos son consecuencia de los procesos de difusión atmosférica.

Estos procesos de difusión atmosférica son la medida correctora más utilizada para la eliminación de contaminantes de un determinado lugar, a través de su dispersión. En realidad no es una medida correctora, propiamente dicha puesto que no elimina los contaminantes, pero se consigue repartir la contaminación en un área más extensa. Hasta ahora es la solución más empleada.

Se trata de conseguir una difusión en la atmósfera de los contaminantes emitidos por uno o varios focos, generalmente a través de chimeneas altas, con el fin de que la carga contaminante se reparta mejor y en condiciones óptimas, para que la concentración de contaminantes en un determinado lugar sea inferior a los standards o valores de referencia admisibles, establecidos en la legislación nacional (o en su defecto en normas internacionales), con base en criterios sanitarios.

Mediante el empleo de unos modelos de difusión físico-matemáticos se puede determinar el impacto ambiental que una o varias actividades pueden causar en el área afectada o de posible modificación. Para ello es preciso determinar convenientemente las características básicas del medio emisor, del difusor y del receptor, estableciendo las interrelaciones espaciales y temporales.

La dispersión atmosférica de un contaminante depende en primer lugar de las condiciones meteorológicas y después de los parámetros y condiciones en que se produce la emisión en la chimenea, o sea de la velocidad y temperatura de los gases y caudal másico y peso molecular de los diferentes compuestos.

El viento es el primer mecanismo atmosférico de transporte. Los vientos en la Tierra son el resultado de las diferencias de presión inducidas por el calentamiento y enfriamiento de la atmósfera por el Sol.

El movimiento de rotación terrestre produce también un movimiento en la atmósfera característico en cada localización, que puede apreciarse estudiando la rosa de los vientos de ese lugar. La rosa de los vientos de un lugar es el patrón característico de los vientos de un emplazamiento, con respecto a la dirección y velocidad de los mismos. La rosa de los vientos de una zona puede reflejar las condiciones climáticas del lugar mensuales, estacionales o anuales.

En la selección de un emplazamiento para una actividad potencialmente contaminante es fundamental estudiar bien la climatología de las zonas escogidas, de modo que se implante teniendo en cuenta las direcciones pre-

dominantes de los vientos locales y evitar molestias y efectos no admisibles en el entorno. De esta forma puede ahorrarse una cantidad importante de dinero, aprovechando la capacidad de absorción del medio de la carga contaminante que se vierte a través de una chimenea bien calculada, proyectada y construida.

En los estudios de impacto ambiental los datos meteorológicos normalmente utilizados son los disponibles en los aeropuertos más cercanos, lo que no siempre es adecuado, puesto que los fenómenos atmosféricos son muy complejos y las condiciones de difusión pueden variar ampliamente en distancias superiores a 5 o 10 Km., del punto de medida.

Por ello, es oportuno disponer en el lugar de ubicación de una planta de una estación meteorológica para medidas de difusión, que disponga de los instrumentos necesarios, con registro continuo, para determinar los factores meteorológicos correspondientes a la capacidad de difusión de la atmósfera en ese lugar.

### La difusión atmosférica

La dispersión de contaminantes en la atmósfera, emitidos a través de uno o varios focos se determina con parámetros estadísticos que expresan la distribución de residuos en el entorno del foco o fuentes en cuestión.

Los focos pueden ser puntuales o múltiples; fijos y móviles.

En el caso más sencillo se supone un foco puntual y se trata de conocer la distribución de los contaminantes que vierte ese foco en su entorno. Esta distribución se conocerá si se calcula la concentración  $X$  de sustancias contaminantes en cada punto, concentración que representa la masa de contaminantes contenida en la unidad de volumen de aire ( $X = \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

El valor  $X$  en cada punto del entorno del foco dependerá de los siguientes factores:

- La situación o coordenadas del punto.
- La carga o caudal contaminante emitido por el foco en cada momento.
- La dirección y velocidad del viento, la turbulencia, estabilidad y otras condiciones meteorológicas.
- La topografía del terreno circundante.

Desde hace muchos años se han realizado numerosos esfuerzos para

desarrollar funciones matemáticas que permitan obtener, para cada punto de los alrededores del foco, de coordenadas  $x, y, z$ , los valores de  $\chi$  en función de  $x$  y  $z$ , del tiempo  $t$  y de los factores que reflejan las condiciones de emisión de contaminantes, las características topográficas y las situaciones meteorológicas. Se consideran como coordenadas del foco emisor  $x = 0, y = 0, z = h$ , altura efectiva de la chimenea.

La altura efectiva de la chimenea es igual a la altura geométrica más la sobreelevación del penacho, como se indica en la FIGURA 17.

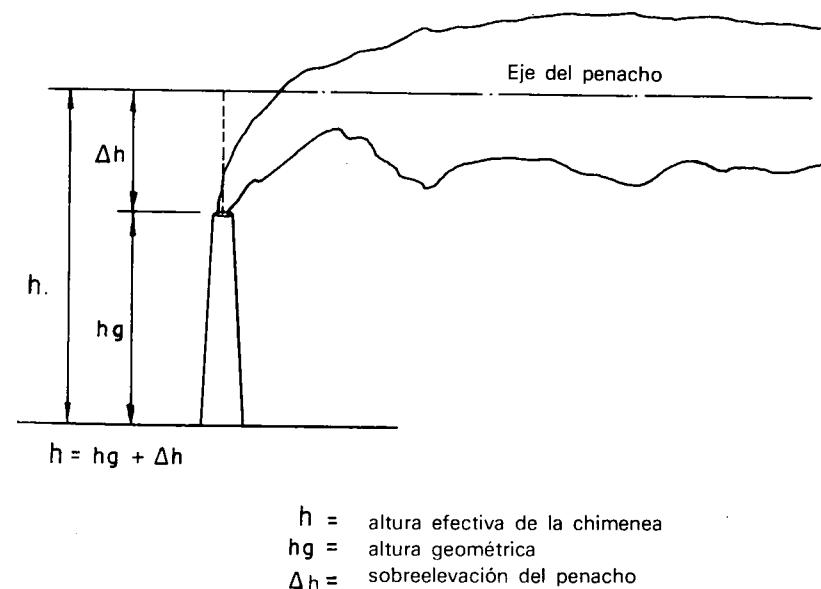


FIGURA 17.—La altura efectiva de la chimenea es la que se considera como punto de partida para la dispersión del penacho.

Los modelos más utilizados se basan en suponer una distribución bidimensional gaussiana para todas las partículas situadas en el plano normal a la dirección del viento medio (eje OX), a una distancia  $X$  del foco. Las desviaciones típicas  $\sigma_v$  y  $\sigma_z$ , horizontal y vertical, de esta distribución, expresadas como funciones de la distancia  $X$  y de las condiciones meteorológicas de estabilidad y turbulencia, son parámetros representativos de las condiciones meteorológicas existentes. Fueron utilizados por primera vez por el meteorólogo inglés F. PASQUILL y con diversas modificaciones y

variantes continúan empleándose. Para su aplicación se usan tablas o abacos en donde se han agrupado las condiciones meteorológicas de estabilidad y turbulencia en varios grupos o «categorías de estabilidad».

En la FIGURA 18 se indica el sistema de coordenadas aplicado a un punto de emisión.

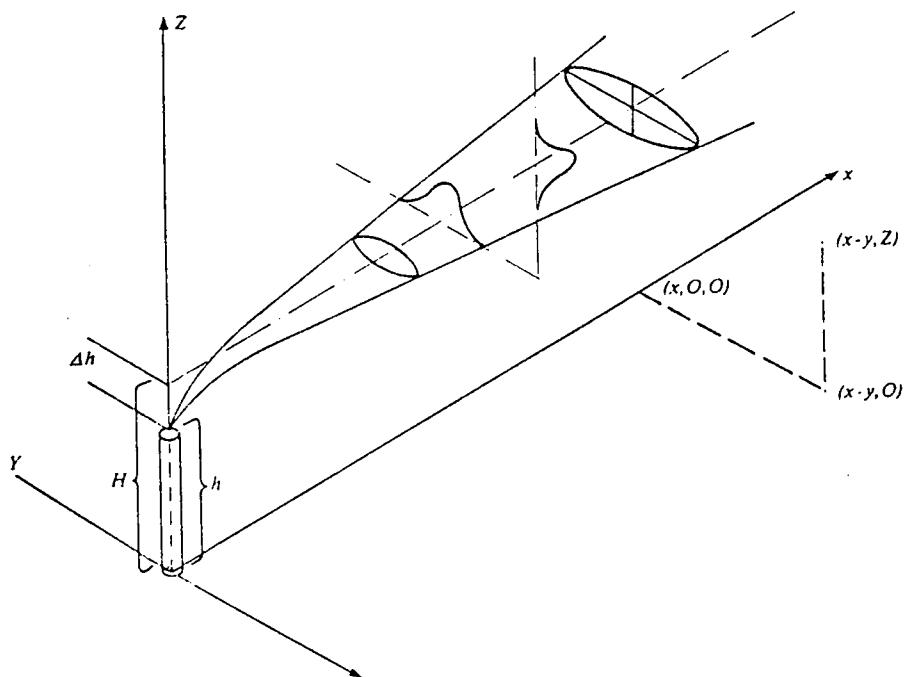


FIGURA 18.—Sistema de coordenadas aplicado a un punto de emisión, en un sistema Gaussiano de distribución de la dispersión del penacho.

### Estabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica está relacionada con los movimientos ascendentes y descendentes de volúmenes de aire. Es función de la velocidad del viento, de la turbulencia atmosférica, del gradiente de temperatura, de la insolación, nubosidad, lluvia, nieve y otras condiciones climáticas.

En general, la estabilidad atmosférica se determina mediante el gradiente térmico.

Se considera estable la atmósfera cuando inhibe los movimientos verticales de aire. Se define inestable cuando los amplifica y neutra si no afecta al proceso adiabático seco; en la vertical origina un enfriamiento aproximado de  $1^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros. En realidad, esta cifra es algo menor porque el aire tiene una cierta cantidad de vapor de agua, que se condensa y desprende calor.

Los cambios de estabilidad en la atmósfera pueden obedecer, expuesto de forma simple y breve, a las siguientes causas:

- Calentamiento o enfriamiento de superficie. El aire pasa por una superficie a distinta temperatura o el aire está sobre una superficie que gana o pierde calor por radiación.
- Advección o transporte diferencial. El aire alto es sustituido por aire cálido de abajo, como en el caso de las brisas o en el microclima de las ciudades.
- Desplazamiento vertical de capas. Se produce una subsidencia —hundimiento— de una capa de aire, produciendo aumento de la estabilidad por la diferencia de densidades entre las partes alta y baja de la capa. Estas situaciones se presentan con los anticiclones, brisas de retorno de los ciclos mar - tierra y en los efectos de las ciudades. En condiciones anticiclónicas el aire en las capas bajas no descende y llega a formarse una inversión de temperatura.

El tipo de estabilidad atmosférica influye en el perfil de velocidades del viento y las condiciones de estabilidad afectan de forma importante al comportamiento del penacho.

### Penachos

Los contaminantes salen de las chimeneas en forma de penacho o nube. La configuración del penacho es función de la estabilidad atmosférica que, por otra parte, afecta como ya se ha visto a la dispersión.

En condiciones neutras el penacho tiene forma de cono y se pueden aplicar las ecuaciones de dispersión normales.

En condiciones estables el penacho tiene forma de abanico cerca de su origen y lejos de éste, de cinta, no existiendo apenas difusión vertical y pudiendo transportar los contaminantes a largas distancias; en chime-

neas altas, hasta 100 y 200 kilómetros. Puede ocurrir luego una fumigación, o sea una caída brusca, al llegar a una zona de turbulencias convectivas. En este caso no se pueden aplicar las ecuaciones de dispersión normales.

En condiciones inestables el penacho es serpenteante y las ecuaciones normales de dispersión suelen dar valores medios aproximados, aunque puede haber valores punta altos.

En la FIGURA 19 aparecen penachos en forma de abanico, cono y serpenteante.

Cuando se presentan inversiones el penacho puede tener un perfil elevado, si la inversión de superficie es superada por el penacho y en este caso, la difusión hacia arriba es rápida. Otro caso, en situación de inversión, es el contrario, el atrapamiento, que se produce con una inversión alta que no puede atravesar el penacho y los gases quedan atrapados, dispersándose sólo lateralmente.

Cada vez son más importantes los efectos de la ciudad, que producen una «isla térmica», dando lugar a una circulación convectiva, en caso de vientos débiles, con aire ascendiendo sobre el centro de la ciudad y aire descendiendo sobre las zonas periféricas. En estas condiciones, el arrastre de aire que se establece por la noche hacia la ciudad puede producir la fumigación de los penachos en cinta, procedentes de instalaciones industriales situadas en el entorno de la población.

La región de la atmósfera en donde se produce la emisión de contaminantes y en donde existe una capa estable que impide la difusión vertical y mezcla turbulenta del penacho se denomina capa de mezcla. La altura de la capa de mezcla es la distancia desde el suelo a esta capa. La altura de la capa de mezcla afecta ampliamente a los procesos de dispersión. Cuando la altura de la capa de mezcla es pequeña se produce un confinamiento de los contaminantes, que quedan atrapados sin poder dispersarse, dando lugar a los fuertes episodios de contaminación que originan situaciones de emergencia con fuerte incidencia en casos de morbilidad en la población.

### Modelos de difusión

En las evaluaciones de impacto ambiental se trata de determinar la incidencia que pueden tener las emisiones de contaminantes de un proyecto, sobre la calidad del aire. Esta evaluación se efectúa utilizando modelos físico-matemáticos de difusión. Estas metodologías son de predicción y se emplean en numerosas aplicaciones.

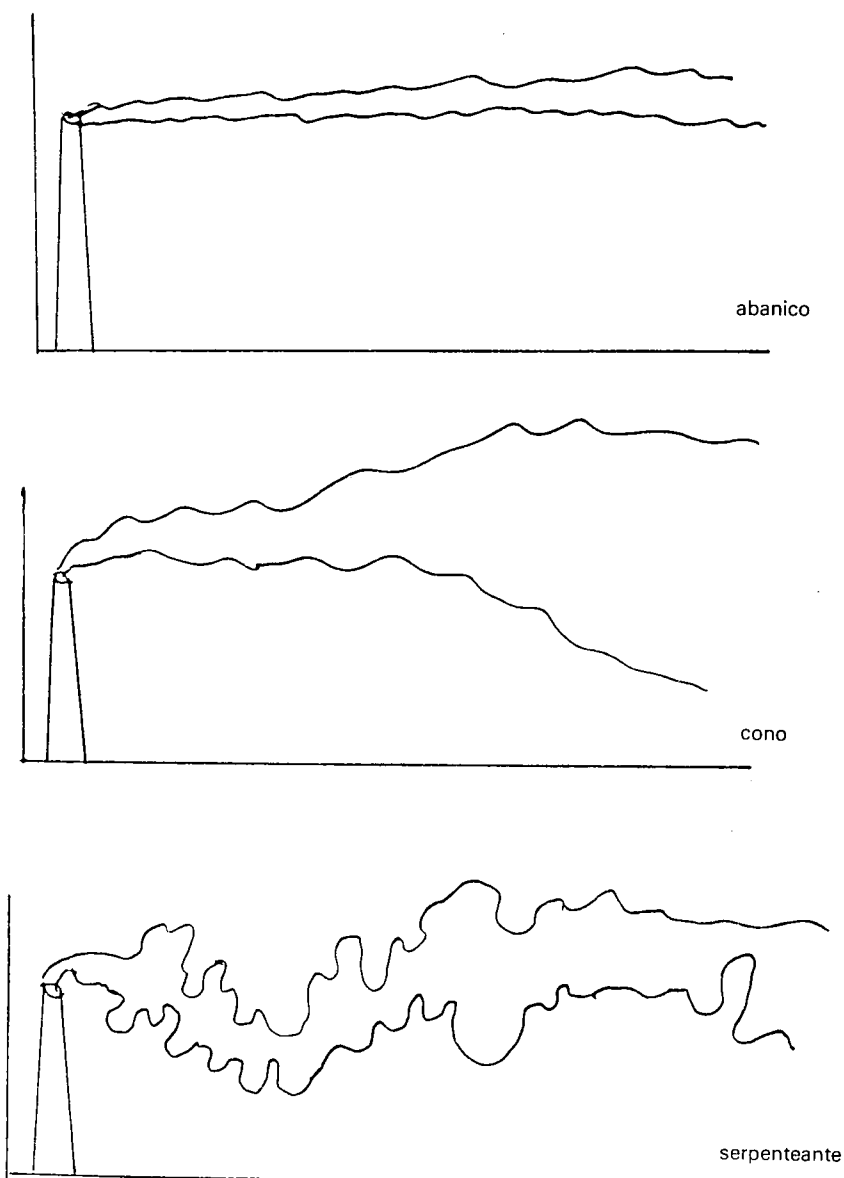


FIGURA 19.—Penachos en forma de abanico (condiciones estables), de cono (condiciones neutras) y serpenteante (condiciones inestables).

La fórmula que corresponde al modelo simplificado de Pasquill es la ecuación básica de la difusión y es la siguiente:

$$\chi = \frac{Q}{\pi \bar{u} \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{h^2}{\sigma_z^2} \right)}$$

en la cual:

$\chi$  = Concentración de contaminantes en el suelo, punto (x, y, z) en gr/m<sup>3</sup>.

Q = Caudal de emisión del foco, flujo másico, en gramos/segundo.

$\sigma_y, \sigma_z$  = Desviaciones típicas de la curva de distribución normal, transversal y vertical, del penacho expresadas en metros. Son función de la clase de estabilidad atmosférica.

$\bar{u}$  = Velocidad media del viento en el punto de vertido efectivo del foco, expresada en m/segundo.

h = Altura efectiva del foco, en metros. La altura efectiva de una chimenea es igual a su altura geométrica más el valor de la sobre elevación del penacho, por efecto termoconvectivo y por la corrección debida al entorno topográfico.

x, y = Distancias en la dirección del viento y transversal a éste, respectivamente.

z = Altura absoluta sobre el nivel del mar.

Esta ecuación puede expresarse también así:

$$\chi(x, y, z) = \underbrace{\frac{Q}{u}}_I \underbrace{\frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2}_II \cdot \underbrace{\frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \exp - \frac{1}{2} \left( \frac{z-h}{\sigma_z} \right)^2}_III$$

En esta ecuación:  $\chi(x, y, z) = f(Q, u, \sigma_y, \sigma_z, h, X, Z)$

El término (I) representa la función del foco.

El término (II) representa la dispersión lateral.

El término (III) representa la dispersión vertical.

Esta ecuación da los valores de la concentración (nivel de inmisión o de calidad del aire) en el punto x, y, z, debidos a la emisión en el punto (0, 0, h). Este vertido aparece esquematizado en la FIGURA 18.

El equipo que interviene en la evaluación de impacto ambiental necesita comprobar, en primer término si las emisiones del proyecto estudiado cumplen los niveles de emisión y de inmisión establecidos en la legislación vigente y cuál es la situación peor que produciría el proyecto. De forma simple, en una primera evaluación, se puede aplicar la siguiente expresión, para tal fin:

$$\chi_{\max} = \frac{2Q}{e \pi \bar{u} h^2} \frac{\sigma_z}{\sigma_y}$$

Existen numerosas fórmulas y modelos matemáticos para calcular la difusión de contaminantes en la atmósfera, pero los tres más utilizados para establecer las concentraciones de contaminantes en los diferentes puntos del entorno de un foco parten de la ecuación de Pasquill y son los siguientes:

- Modelo de Pasquill - Gifford para los parámetros de dispersión y fórmula de Briggs para calcular la sobre elevación de penacho, que es el que se suele emplear en España.
- Modelo de Pasquill - Gifford para los parámetros de dispersión y las ecuaciones de Holland para la sobre elevación del penacho.
- Modelo ASME para calcular la sobre elevación del penacho y fórmula ASME para la difusión, que es el más frecuentemente utilizado en los Estados Unidos.

En Francia se suele emplear la fórmula de Lucas para el cálculo de la sobre elevación de penachos y la ecuación de Pasquill para la difusión.

En España el Ministerio de Industria y Energía estudió profundamente los diferentes modelos, sus aplicaciones y resultados y adoptó el citado anteriormente en el punto a) el de Pasquill-Gifford-Briggs. Se estableció también una guía para la difusión atmosférica de contaminantes, que se incluye en la publicación de 1981 «Manual de Cálculo de Chimeneas Industriales».

En la TABLA VIII se indican a continuación las principales fórmulas utilizadas para el cálculo de sobreelevación de penachos (\*).

TABLA VIII

## Principales fórmulas de sobreelevación de penacho

Autor	Fórmula
1. Bosanquet-Carey-Halton	$\Delta h_{\max.} = \frac{4,77}{1 + 0,43 \frac{\bar{u}}{v_s}} \frac{\sqrt{Q_1 \cdot v_s}}{\bar{u}} + 6,37 g \frac{Q_1 \cdot \Delta}{\bar{u}^2 T_1} \left( \ln J^2 + \frac{2}{J} - 2 \right)$ $J = \frac{\bar{u}^2}{\sqrt{Q_1 v_s}} \left( 0,43 \sqrt{\frac{T_1}{g(\Delta Q/\Delta z)}} - 0,28 \frac{v_s T_1}{g \Delta} \right) + 1$
2. Holland	$\Delta h_{\max.} = (1,5 v_s \cdot D + 0,041 Q_c) \frac{1}{\bar{u}}$
3. Concawe	$\Delta h_{\max.} = 5,53 Q_c^{0,5} \cdot \frac{1}{\bar{u}^{0,75}}$
4. Lucas-Moore-Spurr	$\Delta h_{\max.} = (12,9 + 0,02 h_g) \frac{QM^{0,25}}{\bar{u}}$
5. Rauch	$\Delta h_{\max.} = 47,2 Q_c^{0,25} / \bar{u}$
6. Carson-Moses	$\Delta h_{\max.} = C_1 d \left( \frac{v_s}{\bar{u}} \right)^{C_2} + C_3 \left( \frac{Q_c}{\bar{u}} \right)^{C_4}$ <p><math>C_1, C_2, C_3, C_4</math> variables según tipo atmósfera.</p>
7. Briggs	$\Delta h = 1,6 F^{1/3} X^{2/3} \cdot \frac{1}{\bar{u}} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Atmósfera neutra} \\ \text{o próxima} \end{array} \right\}$ $\Delta h_{\max.} = > x = 1,5 F^{2/5} h g^{3/5} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Atmósfera neutra} \\ \text{o próxima} \end{array} \right\}$

(\*) Manual de Cálculo de Altura de Chimeneas Industriales. Ministerio de Industria y Energía. Madrid, 1981.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta h = 2,9 \cdot \left( \frac{F}{\bar{u} S} \right)^{1/3} \\ S = \frac{g}{T_a} \frac{\Delta \theta}{\Delta z} \end{array} \right\} \text{Atmósfera estable}$$

$$F = 0,25 g v_s \cdot D^2 \left( \frac{T_s - T_a}{T_s} \right)$$

$$8. \text{ Stumke I} \quad \Delta h = \frac{1}{\bar{u}} \left[ 1,5 v_s \cdot D + 65 D^{1,5} \left( \frac{T_s - T_a}{T_s} \right)^{0,25} \right]$$

$$9. \text{ Stumke II} \quad \Delta h = \frac{2,92}{\bar{u}} (1,5 v_s \cdot D + 0,041 Q_c)$$

$$10. \text{ ASME} \quad \Delta h = 7,4 h g^{2/3} F^{1/3} \cdot \frac{1}{\bar{u}} \quad \left. \begin{array}{l} \text{Atmósfera neutra} \\ \text{o inestable.} \end{array} \right\}$$

$$F = g v_s \left( \frac{D}{2} \right)^2 \frac{\rho_a - \rho_s}{\rho_a}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta h = 2,9 \left( \frac{F}{\bar{u} G} \right)^{1/3} \\ G = \frac{g}{\theta_s} \frac{\Delta \theta}{\Delta z}; \quad \theta_s = T \left( \frac{P_o}{P} \right)^{0,29} \end{array} \right\} \text{Atmósfera estable}$$

La nomenclatura utilizada en las fórmulas de la TABLA VIII es la siguiente:

$h$	Altura eficaz de chimenea (m).
$h_g$	Altura geométrica de la chimenea (m).
$\Delta h$	Sobreelevación del penacho de humos (m) ( $\Delta h_{\max.}$ : Valor máximo).
$\bar{u}$	Velocidad media de viento (m/s).
$v_s$	Velocidad de emisión de los gases (m/s).
$Q_1$	Caudal de humos a $T_1$ (m <sup>3</sup> /s).

$T_i$	Temperatura a la que la densidad de los humos es igual a la del aire ambiente (°K).
$T_a$	Temperatura ambiente (°K).
$T_s$	Temperatura de emisión de los gases (°K).
$\Delta$	Diferencia de temperatura entre $T_s$ y $T_i$ (°K).
$\frac{\Delta\theta}{\Delta z}$	Gradiente vertical de temperatura potencial $= \frac{\Delta T}{\Delta z} + \Gamma \quad (\Gamma \approx 1 \text{ °K/100m}).$
$Q_c$	Calor emitido (Kcal/s).
$D$	Diámetro interior de salida de gases (m).
$g$	Aceleración de la gravedad (m/s²).
$x$	Distancia desde la chimenea en la dirección del viento (m).
$P$	Presión atmosférica (en mb).
$\rho_a$	Densidad del aire ambiente (Kg/m³).
$\rho_s$	Densidad de los gases de escape (Kg/m³).

Si en un penacho arrastrado por el viento, se llama  $Q$  al caudal másico de contaminantes emitido (masa por unidad de tiempo), éste se desplazará (siendo  $u$  la velocidad media del viento), una longitud  $u dt$  en un tiempo  $dt$  y la cantidad de masa teóricamente situada entre dos planos paralelos normales al vector  $u$  separados por la unidad de longitud será:

$$\frac{Q dt}{u dt} = \frac{Q}{u}$$

En el supuesto de que la difusión transversal entre dichos planos sea gaussiana e isentrópica, la concentración  $X$  en un punto situado entre ellos, estará expresada por la relación:

$$X(x, y, z) = \frac{Q/u}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2+z^2}{\sigma^2}\right)}$$

en donde  $\sigma$  será la desviación típica, función naturalmente de la distancia  $X$  al foco en la dirección del viento, ( $x, y, z$ ) son las coordenadas del punto en un sistema ortogonal de ejes, cuyo eje  $OX$  tiene la dirección de  $\bar{u}$  y pasa por el foco, el eje  $OY$  es horizontal y normal al anterior y el  $OZ$  vertical.

Si la difusión no tiene sección circular sino elíptica, por ser la turbulencia en sentido vertical distinta de la correspondiente en sentido horizontal, la relación será:

$$X(x, y, z) = \frac{Q/u}{2\pi\sigma_y\sigma_z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2}\right)}$$

donde  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  son ahora las desviaciones típicas, transversales y verticales, respectivamente.

Para una emisión puntual, teniendo en cuenta la conocida duplicación que en la misma se introduce por la reflexión del mecanismo de difusión al nivel del suelo, puede llegarse para concentraciones a nivel del suelo, suponiendo terreno plano, a la relación:

$$X(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{h^2}{\sigma_z^2}\right)}$$

siendo  $h$  altura del penacho sobre el nivel del suelo.

La posibilidad interesante de estas relaciones es el poder permitir el ajuste para cada distancia al foco entre los coeficientes  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ , y las componentes  $v_y$  y  $v_z$  de las velocidades turbulentas, siendo muy importantes para el valor de la inmisión la duración del tiempo de muestreo adoptado.

La introducción del concepto de la altura de la capa de mezcla en el modelo gaussiano resulta de interés para la evaluación de niveles de inmisión cuando aquella esté ligeramente encima de la boca de emisión y el penacho no tenga el suficiente impulso termoconvectivo para sobrepasar la capa estable que delimita la zona de mezcla.

Para calcular las concentraciones cuando hay limitaciones por altura de la capa de mezcla se utiliza la fórmula de Turner.

## PROCEDIMIENTO DE CALCULO

El cálculo de la dispersión de contaminantes se efectúa disponiendo de unos datos de base, que se aplican al modelo adoptado y que corres-

ponden a datos del foco emisor, datos meteorológicos y geográficos e información sobre la situación del medio en la fase preoperacional, o sea de la contaminación de fondo. Con ello se determinan los niveles de inmisión que pueden producirse en el entorno del foco. En la FIGURA 19 bis se ha reflejado la secuencia operativa en este modelo de difusión.

En realidad se opera procesando todos los datos en ordenador, de acuerdo con los programas preparados al efecto.

Veamos cuales son los datos básicos que hay que introducir en este modelo; unos corresponden a variables físicas —relacionadas con las características de la emisión de contaminantes— y otros a las variables meteorológicas.

### 1. Datos del foco

Los datos del foco precisos son los siguientes:

#### Proceso

Materias primas y combustibles utilizados, así como los productos y subproductos obtenidos. Deben conocerse la composición, consumos y producciones. Debe estudiarse un diagrama del flujo del proceso y conocer el régimen de funcionamiento de la instalación.

#### Emisiones

#### Parámetros físicos

Con respecto a las emisiones es preciso conocer los siguientes datos:

- Caudal de gas efluente, máximo y medio, en m<sup>3</sup>/hora.
- Temperatura del gas efluente.
- Velocidad de salida del gas, por la boca de emisión.
- Contenido en humedad del gas.
- Carga contaminante (indicando por separado cada contaminante), expresado en mg/m<sup>3</sup>N y en kg de contaminante por tonelada de producto fabricado.

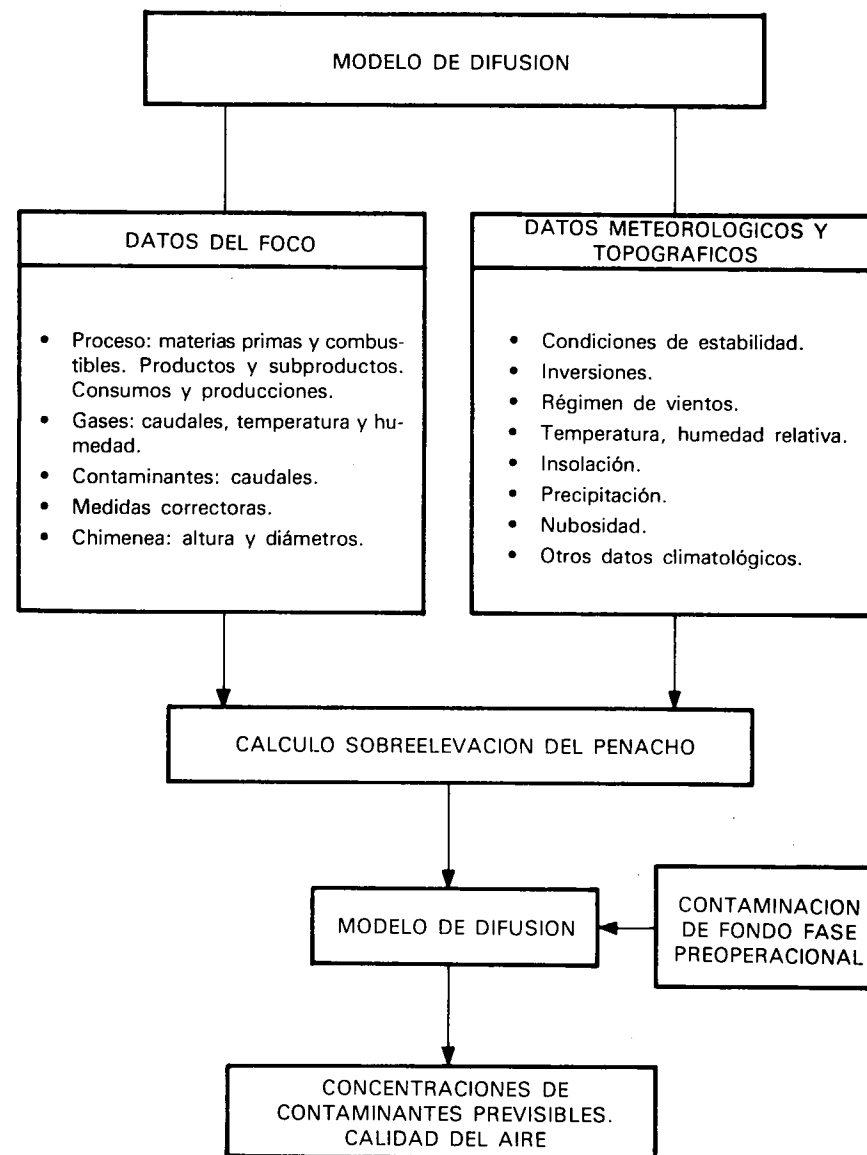


FIGURA 19 bis.—Método de predicción para calcular la difusión previsible de contaminantes en la atmósfera. Impacto sobre la calidad del aire.

- Si el contaminante estudiado es polvo, análisis del mismo, determinando la composición.
- Volumen de los gases efluentes.
- Temperatura del aire ambiente en la boca de la chimenea.
- Gradiente de temperaturas.

### *Inventario de emisiones de la zona*

Además de evaluar la propia emisión objeto del estudio, es necesario realizar un inventario de las emisiones debidas a los distintos focos fijos (industrias y calefacciones) y considerar la existencia de los focos móviles (vehículos) de la zona.

Para ello, es preciso conocer las actividades industriales situadas en el entorno (en un radio, como mínimo, de 5 kilómetros), considerando sus producciones cualitativa y cuantitativamente.

Existen una serie de factores de emisión (por ejemplo, los adoptados por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos de América) que, en una primera aproximación, permiten efectuar este trabajo perfectamente.

Conociendo el consumo de combustibles en calefacciones y la situación de las chimeneas, es posible —también en una primera aproximación— determinar la incidencia de las calefacciones en el entorno, si procede.

## **2. Datos meteorológicos y topográficos**

Los factores climatológicos y geográficos son los que condicionan en buena medida la dispersión.

Se entiende por dato climatológico el resultado de la observación local, sistemática y regular de una variable meteorológica, durante un tiempo suficiente para que sus promedios e índices estadísticos tengan una garantía apreciable de estabilidad.

Los factores climatológicos a considerar en un estudio de dispersión pueden ser muy diversos al darse la circunstancia de que alguno de ellos, considerado insignificante a primera vista, puede tener una importante aplicación en el estudio.

En España los observatorios no suelen estar en el lugar de ubicación de la instalación, por lo que habrá de realizarse correlación y contrastación de datos al menos de dos observatorios lo más próximos posible a

la zona en cuestión, o bien instalar una torre meteorológica «ad hoc».

Para operar con este modelo es preciso conocer las siguientes variables meteorológicas.

- Velocidad del viento a dos niveles.
- Cizalladura del viento.
- Dirección del viento (azimut).
- Angulo de elevación.
- Temperatura del viento a nivel superior.
- Variación de la temperatura con la altura.

Conviene determinar estos parámetros meteorológicos hora a hora durante la duración del trabajo de campo. Para ello, en caso de que no resulten válidos los datos del servicio Meteorológico, habrá que instalar «in situ» una torre meteorológica con los siguientes instrumentos:

- Anemómetro a nivel inferior.
- Anemómetro a nivel superior.
- Biveleta a nivel superior.
- Temperatura a nivel superior.
- Termopar para diferencia de temperaturas a nivel inferior.

De esta manera se obtiene la información necesaria para conocer las principales características del microclima de la zona y de las condiciones de difusión en el entorno del foco emisor de contaminantes.

### *Régimen de vientos*

Para la definición del régimen de vientos son datos de interés los correspondientes a su distribución porcentual según direcciones (Rosa de frecuencias) y a su distribución de velocidades para cada rumbo (Rosa de velocidades).

Se entiende por dirección del viento la correspondiente de donde viene el viento. Se toman como velocidades del viento a la altura de chimenea, para el cálculo, las correspondientes medidas en superficie (a unos 10 m. del suelo) extrapoladas hasta la altura de la chimenea salvo para el caso de calmas que se toman siempre como de 1 m/s a la altura de la boca

de chimenea, puesto que se entiende por calmas, vientos cuya velocidad sea inferior a 1 m/s.

#### *Estabilidad atmosférica*

El conocimiento adecuado de la estabilidad atmosférica puede deducirse del análisis de los gradientes verticales de temperatura, de las fluctuaciones en las direcciones del viento, y del correspondiente a los valores de insolación y nubosidad unidos a los de velocidad del viento para el lugar en cuestión.

#### *Gradientes térmicos verticales*

De acuerdo con el gradiente térmico vertical existente, expresado en variación de la temperatura en °C, por cada 100 m. de ascenso en la elevación, la clasificación de la atmósfera en clases de estabilidad se puede realizar como indica la TABLA IX, midiendo para ello los gradientes en una diferencia de altura mínima de 40 m., preferiblemente entre 10 y 50 m. de altura respecto al suelo, y referidos a promedios horarios.

Las clases A, B y C se consideran inestables en orden decreciente de inestabilidad. La clase D es neutra. Las clases E y F corresponden a condiciones estables en orden creciente de estabilidad. Se trata, pues, de una escala en orden creciente de estabilidad.

TABLA IX

#### **Clases de estabilidad según gradientes térmicos verticales**

<i>Clase de estabilidad</i>	<i>Gradiente térmico vertical (°C/100 m)</i>
A	Menor de - 1,9
B	De - 1,9 a - 1,7
C	De - 1,7 a - 1,5
D	De - 1,5 a - 0,5
E	De - 0,5 a + 1,5
F	Mayor de + 1,5

#### *Fluctuación en la dirección del viento*

Las clases de estabilidad se pueden, también, obtener a partir de la determinación de las desviaciones típicas horarias, en grados, de la fluctuación horizontal de la dirección del viento, deducida del análisis de las bandas del anemocinemógrafo de un período de tiempo significativo, y mediante el criterio que se indica en la TABLA X, pudiéndose evaluar la desviación típica horaria a partir de la oscilación máxima horaria dividida por 6.

TABLA X

#### **Clases de estabilidad según oscilaciones horarias del viento**

<i>Clase de estabilidad</i>	<i>Desviación típica horizontal de la dirección del viento (Grados)*</i>
A	25,0
B	20,0
C	15,0
D	10,0
E	5,0
F	2,5

\* Se entiende valor medio del intervalo considerado.

#### *Radiación solar, nubosidad y velocidad del viento*

El método de Turner permite clasificar las estabilidades en base a las observaciones efectuadas en las estaciones completas del Instituto Nacional de Meteorología, fundándose en que la estabilidad cerca del suelo depende esencialmente de la radiación solar neta y de la velocidad del viento.

La insolación durante el día, en ausencia de nubes depende de la altura del sol sobre el horizonte. La presencia de nubes origina una disminución de la energía entrante y saliente. Durante el día la insolación estimada por la altura solar se modificará de acuerdo con las condiciones de nubosidad, teniéndose únicamente en cuenta la nubosidad para el período nocturno.

En la TABLA XI se da la clase de estabilidad en función de un índice de radiación neta y de la velocidad del viento en nudos. Este índice varía desde un valor 4, máxima radiación neta positiva recibida por el suelo, a — 2, máxima radiación negativa (irradiada por el suelo a la atmósfera).

Las clases de estabilidades son las siguientes:

1. Extremadamente inestable.
2. Inestable.
3. Ligeramente inestable.
4. Neutra.
5. Ligeramente estable.
6. Estable.

Estas categorías se corresponden con las clases A a F de Pasquill.

TABLA XI  
Clase de estabilidad según índice  
de radiación neta y velocidad del viento

Velocidad del viento (nudos)	Índice de radiación neta						
	4	3	2	1	0	— 1	— 2
1	1	1	2	3	4	6	6
2	1	2	2	3	4	6	6
3	1	2	2	3	4	6	6
4	1	2	3	4	4	5	6
5	1	2	3	4	4	5	6
6	2	2	3	4	4	5	6
7	2	2	3	4	4	4	5
8	2	3	3	4	4	4	5
9	2	3	3	4	4	4	5
10	3	3	4	4	4	4	5
11	3	3	4	4	4	4	5
≥ 12	3	4	4	4	4	4	4

Existen procedimientos para calcular el índice de radiación neta, pero también puede aplicarse un criterio cuantitativo para determinar la insolación, que es el siguiente:

Insolación fuerte:  $> 50 \text{ cal/h. cm}^2$

Insolación moderada:  $49 - 25 \text{ cal/h. cm}^2$

Insolación escasa o débil:  $< 24 \text{ cal/h. cm}^2$

### Matriz de estabilidades

El parámetro microclimático más importante, y que define con más precisión las condiciones difusivas del entorno del foco emisor, es la llamada matriz de estabilidades. Con esta matriz se conoce para cada una de las dieciséis direcciones de los vientos de la zona, para cada intervalo de velocidad y tipo de estabilidad elegida, la frecuencia con que se da dicha situación en el área de estudio.

Se obtiene una matriz cúbica de frecuencias de situaciones, en la que cada elemento  $f_{ijk}$  indica la frecuencia de las situaciones caracterizadas por un viento de dirección clasificada en el sector  $i$  de direcciones, de velocidad incluida en el intervalo  $j$  de velocidades y de estabilidad perteneciente a la categoría  $k$ .

Esta matriz de frecuencias de situaciones, unida a los parámetros que son válidos en cada situación para calcular el factor de dilución correspondiente a cada punto de los alrededores de la fuente, son, al menos teóricamente, elementos de juicio suficientes para predecir las concentraciones posibles en todos y cada uno de los puntos del espacio de los alrededores del foco contaminante, su probabilidad, y los valores medios de tales concentraciones.

La identificación del tipo de estabilidad atmosférica se basa en los siguientes datos tomados hora a hora:

- Gradiente vertical de temperatura.
- Desviación típica del azimut.
- Desviación típica del ángulo de altura.
- Cizalladura del viento.

Para la determinación de la estabilidad atmosférica, se utilizan las categorías de estabilidad de Pasquill.

Para la obtención de la matriz de estabildades, no basta conocer la frecuencia de situaciones meteorológicas «in situ», sino que es necesario efectuar las oportunas correlaciones de los datos anteriores con los datos obtenidos en una estación del Servicio Meteorológico Nacional próxima al lugar de estudio:

- Durante el periodo de muestreo anterior.
- Durante un período significativo climatológico (20 a 30 años anteriores).

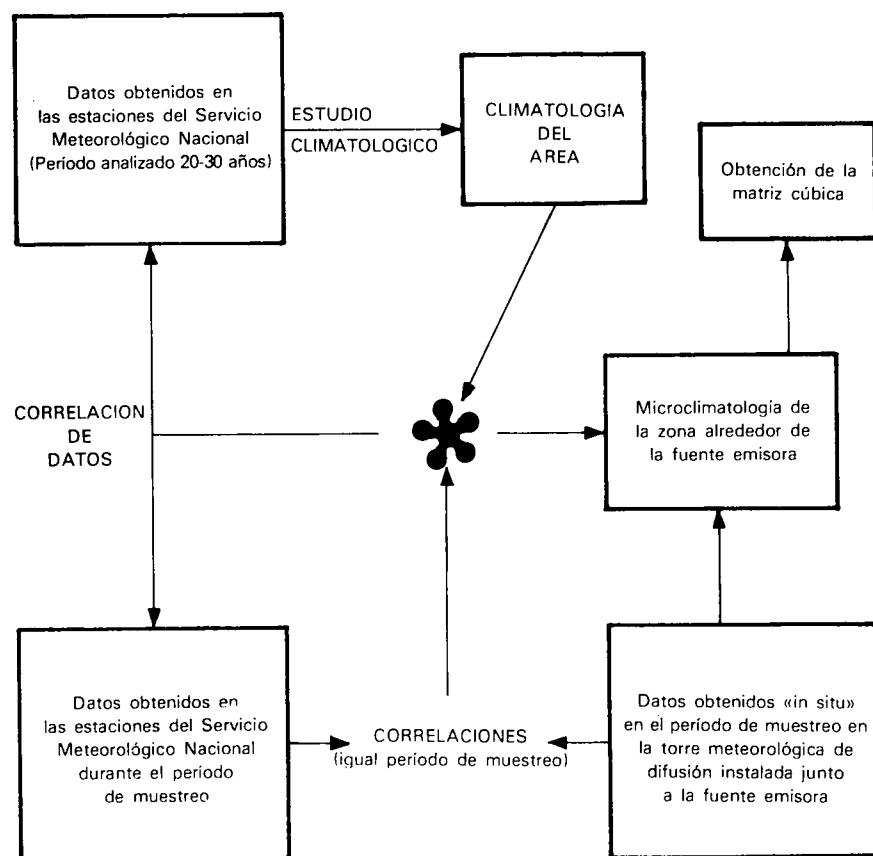


FIGURA 20.—Esquema y procedimiento para la obtención de la matriz de estabildades.

Estos datos se correlacionan en la forma que se indica en la FIGURA 20, a fin de obtener la matriz cúbica de estabildades.

Con esto datos es posible determinar los valores de concentración de contaminantes en cualquier punto de la zona de influencia de la emisión, o sea la calidad del aire, así como trazar las isopletas de concentración de contaminantes y determinar las situaciones más desfavorables para la contaminación (desde el punto de vista meteorológico). Esto permite efectuar una previsión de situaciones desfavorables, en cuyo período pueden corregirse o modificarse las emisiones y su difusión.

El modelo de Pasquill - Gidfford, complementado con las fórmulas de Briggs y el cálculo de la matriz cúbica de frecuencias de situaciones meteorológicas, y medidos los correspondientes parámetros «in situ», es realmente un modelo de predicción de impacto físico, con un perfecto ajuste físico-matemático a los fenómenos reales de difusión en un medio tan complejo como el atmosférico.

#### Cizalladura del viento

Para la aplicación de los modelos de dispersión es necesario conocer la variación de la velocidad del viento con la altura o perfil de velocidades. La variación de las velocidades del viento con la altura suele cumplir, con bastante aproximación, la relación:

$$u = u_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^n$$

donde  $u$ ,  $u_1$  son las velocidades del viento a las alturas  $z$ ,  $z_1$ , respectivamente y  $n$  el denominado índice de cizalladura estimado de acuerdo con las clases de estabilidad según se indica en la TABLA XII.

#### Temperatura del aire

Se determinarán los valores de temperatura media en el período de tiempo considerado a fin de introducirlos en los cálculos de sobre elevación de penacho.

#### Factores geográficos

Dentro de los factores geográficos se pueden englobar los topográficos, de especial importancia en caso de relieve accidentado del terreno próximo a la instalación.

TABLA XII

**Valor del índice de cizalladura  
según clases de estabilidad**

<i>Clase de estabilidad</i>	<i>Exponente n del perfil de velocidades</i>
A	0,10
B	0,15
C	0,20
D	0,25
E	0,30
F	0,30

Otros factores geográficos de importancia son el tipo de utilización del suelo en las zonas vecinas, zonas arbóreas próximas, poblaciones contiguas y su densidad de población; cursos de agua y cualquier otra característica geográfica de la zona.

### 3. Situación del medio en la fase preoperacional. Contaminación de fondo

Es imprescindible conocer el valor de la contaminación de fondo para saber cuál será el impacto neto del nuevo proyecto.

La legislación española sobre contaminación atmosférica da las siguientes definiciones para la contaminación de base y para la contaminación de fondo:

*Contaminación de base.* La que existe en la atmósfera libre sin influencia de focos de contaminación específicos.

*Contaminación de fondo.* La que existe en un área definida, antes de instalar un nuevo foco de contaminación. Hay que expresarla por el valor medio de varias determinaciones de la concentración de los contaminantes de la atmósfera a lo largo de un periodo de tiempo establecido. Se indica para cada contaminante.

Hay que conocer también, si existen, los niveles de emisión y de inmisión que establece la legislación del país en que esté ubicado el proyecto. Si existe tal legislación, la evaluación es mucho más sencilla.

Si no existe legislación específica propia, se acude a la legislación de otros países y se examina la legislación comparada al respecto.

Con objeto de concretar los conceptos, se indican a continuación las definiciones que la legislación española da sobre nivel de emisión, nivel de inmisión, nivel máximo admisible de emisión y nivel de referencia de calidad del aire:

*Nivel de emisión.* Cantidad de un contaminante emitido en la atmósfera por un foco fijo o móvil, medido en una unidad de tiempo.

*Nivel de inmisión.* Cantidad de contaminantes sólidos, líquidos o gaseosos, por unidad de volumen de aire, existente entre cero y dos metros de altura sobre el suelo.

*Nivel máximo admisible de emisión.* Cantidad máxima de un contaminante del aire que la ley permite emitir a la atmósfera exterior. Se establece un límite para la emisión instantánea y otros para los valores medios en diferentes intervalos de tiempo. Estos límites pueden expresarse de distintas maneras, bien sea como índices de las escalas de Ringelmann o de Bacharach, o como peso de contaminantes emitido por unidad de producción del proceso industrial, o como porcentaje de contaminante gaseoso contenido en el gas emitido.

*Nivel de referencia de calidad del aire o concentraciones de referencia o valores de referencia.* Son los valores de inmisión individualizados por contaminante y periodo de exposición, a partir de los cuales se determinarán las situaciones ordinarias, las de zona de atmósfera contaminada y las de emergencia, de acuerdo con lo establecido en el anexo I del Decreto 833/1975, de 6 de febrero, que desarrolla la Ley 38/1972 de protección del Ambiente Atmosférico.

La manera de obtener los valores de fondo se basará en las medidas recogidas con los correspondientes sensores en la zona y en su procesamiento estadístico, correlacionado con los factores meteorológicos. Los valores experimentales son recogidos actualmente por la Red Nacional de Vigilan-

cia y Previsión de la Contaminación Atmosférica en diferentes puntos de la geografía nacional. Otro sistema consiste en su recogida experimental ayudados de los medios instrumentales necesarios para obtener unos valores de fondo de fiabilidad, lo que hoy se realiza para diferentes instalaciones. En ausencia de datos, y para el caso del  $\text{SO}_2$ , la orden de 18 de octubre de 1976 del Ministerio de Industria y Energía indica los valores a adoptar según el tipo de zona en estudio: poco contaminada, medianamente o muy industrializada.

En el caso de recogida experimental de datos mediante el instrumental adecuado, éste puede estar constituido por medidores continuos o equipos de toma de muestras de aire para su posterior análisis. En el primer caso se pueden obtener las concentraciones medidas para cualquier período de tiempo. En el segundo caso sólo suelen conseguirse medias diarias, existiendo diferentes criterios para la estimación de las concentraciones promedio para otros períodos de tiempo, siendo uno de los de mayor aplicación el criterio exponencial:

$$x_2 = x_1 \left( \frac{t_1}{t_2} \right)^K$$

siendo  $x_2$ ,  $x_1$  niveles de inmisión promedio en los tiempos  $t_2$  y  $t_1$  respectivamente.

De acuerdo con la legislación vigente nacional, y tomando el  $\text{SO}_2$  como contaminante, en España son valores de referencia para situación admisible los siguientes:

- Promedio máximo de concentración en dos horas:  $700 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .
- Promedio de concentración media en un día:  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

lo que implicaría un valor de  $K = 0.225$ .

#### Aplicación del modelo

El método que se aplica en España, como ya se ha indicado, se basa en el modelo de Pasquill - Gifford para la estimación de los niveles de inmisión producidos por la dispersión de los contaminantes, emitidos por la chimenea utilizando las fórmulas de Briggs para la evaluación de la sobre-elevación del penacho.

#### A) CÁLCULO DE LA SOBREELEVACIÓN DEL PENACHO. FÓRMULAS DE GARY A. BRIGGS

Hay diversas fórmulas de Briggs para calcular el ascenso del penacho, según determinadas condiciones meteorológicas. Se indican a continuación las que se emplean en tres casos: condiciones de atmósfera neutra o inestable; condiciones de atmósfera estable y en caso de calmas.

##### Condiciones neutras o inestables

Para  $x < x_f$  (valor 1)

$$\Delta h = \frac{1,6 F^{1/3} x^{2/3}}{u} \quad (1)$$

para  $x \geq x_f$  (valor 1)

$$\Delta h = \frac{1,6 F^{1/3} x_f^{2/3}}{u} = \frac{1,6 F^{1/3} (3,5 x^*)^{2/3}}{u} \quad (2)$$

##### Condiciones estables

Para  $x < x_f$  (valor 2)

$$\Delta h = \frac{1,6 F^{1/3} x^{2/3}}{u} \quad (3)$$

para  $x \geq x_f$  (valor 2)

$$\Delta h = 2,4 \left( \frac{F}{uS} \right)^{1/3} \quad (4)$$

##### Con calma:

$$\Delta h = \frac{5 F^{1/4}}{S^{1/8}} \quad (5)$$

Tomando el más pequeño de los valores (3), (4) y (5) para  $\Delta h$ .

### 1. Parámetros y símbolos usados en las fórmulas:

#### 1.1. Referentes al foco emisor o chimenea

- $T_v$  = Temperatura absoluta de salida de los gases ( $^{\circ}\text{K}$ ).  
 $v_v$  = Velocidad de salida de los gases en metros/segundo.  
 $d$  = Diámetro interior de la boca de la chimenea, en metros.  
 $V$  = Volumen de gases emitidos, expresado en metros cúbicos/segundo; si la chimenea es cilíndrica:  

$$V = (\pi/4) d^2 v_v$$
  
 $F$  = Parámetro de flotabilidad termoconvectivo, expresado en  $(\text{metros})^{1/2}/(\text{segundos})^2$ .  
 $\Delta h$  = Sobreelevación del penacho, en metros.  
 $x$  = Distancia a la chimenea, en metros, tomada a sotavento de la misma, para la que se calcula  $\Delta h$ .  
 $x^*$  = Valor de  $x$  para el que la turbulencia atmosférica comienza a destruir la estructura del penacho.  
 $x_c$  = Valor de  $x$  a partir del cual no crece  $\Delta h$ .

#### 1.2. Referentes al entorno atmosférico

- $T$  = Temperatura absoluta del aire en el nivel de salida de los gases ( $^{\circ}\text{K}$ ).  
 $u$  = Velocidad media del viento al nivel de salida de los gases, en metros/segundo.  
 $\frac{\delta\theta}{\delta z}$  = Gradiente vertical de la temperatura potencial, en  $^{\circ}\text{K}/\text{metro}$ .  
 $\frac{\delta T}{\delta z}$  = Gradiente vertical de temperatura, en  $^{\circ}\text{K}/\text{metro}$ .  
 $S$  = Parámetro de estabilidad, en  $(\text{segundos})^2$ .

### Condiciones atmosféricas

#### Tipo de estabilidad

- $\left. \begin{matrix} A \\ B \\ C \end{matrix} \right\}$  INESTABLE  
 $\left. \begin{matrix} D \end{matrix} \right\}$  NEUTRA  
 $\left. \begin{matrix} E \\ F \end{matrix} \right\}$  ESTABLE

#### 1.3. Generales

$$\pi = 3,141592\dots$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad, en metros}/(\text{segundo})^2 = 9,806 \text{ m/sg}^2.$$

#### 2. Expresiones auxiliares

##### 2.1. Referentes al foco emisor o chimenea

$$F = \frac{g}{\pi} v_v \left( 1 - \frac{T}{T_v} \right) = 3,121 v_v \left( 1 - \frac{T}{T_v} \right)$$

En condiciones inestables o neutrales en la zona de vertido y

$$\begin{aligned} \text{para } F \leq 55 \quad x^* &= 14 F^{1/5} \\ \text{para } F \geq 55 \quad x^* &= 34 F^{2/5} \end{aligned} \quad x_c = 3 \cdot 5 x^* \quad (a)$$

En condiciones estables

$$x_c = \frac{3,14 u}{S^{1/2}} \quad (b)$$

##### 2.2. Referentes al entorno atmosférico

En condiciones estables en la zona de vertido

$$S = \frac{g}{T} \frac{\partial \theta}{\partial z} \approx \frac{g}{T} \left( 0,01 + \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

*Aplicación de las fórmulas.* Si se conocen directamente los valores de  $T$ ,  $u$  y  $\frac{\partial T}{\partial z}$  correspondientes al momento de la emisión, se introducen en las fórmulas de la manera que se expone.

Si se trata de aplicarlas cuando la estabilidad viene dada por la clasificación en categorías de Pasquill, pueden tomarse para calcular  $S$  los siguientes valores para  $\frac{\partial T}{\partial z}$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0,010 \text{ } ^\circ\text{K/metro} \quad \text{para la categoría E}$$

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0,025 \text{ K/metro} \quad \text{para la categoría F}$$

Para las categorías A, B, C y D (gradientes superadiabáticos o neutral) no se usan fórmulas que contengan el parámetro  $S$ .

Por otra parte, la sobreelevación del penacho no es función sólo del incremento de altura debido al impulso termoconvectivo y de las condiciones meteorológicas en el momento de la emisión, sino que depende también de la topografía de su entorno.

Por lo tanto, para aplicar correctamente los modelos de dispersión, es necesario hacer un ajuste de la sobreelevación del penacho debida a la influencia topográfica, relacionando el perfil medio topográfico con la distorsión media de las líneas de flujo del viento, con objeto de obtener la relación entre la pendiente del viento medio y el perfil por donde se desplaza el penacho.

## B) NIVELES DE INMISIÓN

Para el caso de gases o partículas en suspensión, el modelo de Pasquill - Gifford estima los niveles de inmisión, en un punto de coordenadas  $(x, y, z)$  donde el origen del sistema de coordenadas se fija en la base de la chimenea, con  $x$  en la dirección del viento,  $y$  en su transversal, y  $z$  en la vertical o coincidente en dirección con la chimenea, y siendo  $h$  o altura efectiva de chimenea, considerada como la suma aritmética de la altura

real geométrica de chimenea  $hg$  con la sobreelevación por flotación  $\Delta h$  del penacho, mediante la siguiente expresión:

$$Z(x, y, z; h) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \left[ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-h}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+h}{\sigma_z}\right)^2} \right]$$

donde:

$Z(x, y, z; h)$  Nivel de inmisión en el punto  $(x, y, z)$  para una altura efectiva de chimenea  $h$ . ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ ).

$x$  Coordenada en la dirección horizontal del viento (m).

$y$  Coordenada transversal a la dirección horizontal del viento (m).

$z$  Coordenada vertical (m).

$h$  Altura efectiva de chimenea o suma de su altura real con la sobreelevación de penacho (m).

$Q$  Caudal del contaminante ( $\mu\text{g}/\text{s}$ ).

$u$  Velocidad del viento a la salida del penacho (m/s).

$\sigma_y$  Coeficiente de difusión transversal o desviación típica transversal del penacho respecto a su línea central (m).

$\sigma_z$  Coeficiente de difusión vertical o desviación típica del penacho en la vertical respecto a su línea central o eje (m).

Esta relación para una distancia  $x$  en la dirección del viento y para el nivel del suelo se transforma en la expresión:

$$Z(x, 0, 0; h) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{h}{\sigma_z}\right)^2}$$

siendo la máxima concentración previsible, en ausencia de corrección topográfica, la dada por:

$$\chi_{\max}(x, 0, 0; h) = \frac{2Q}{e\pi u h^2} \frac{\sigma_z}{\sigma_y}$$

y que se estima se produciría a una distancia  $x_{\max}$  donde  $\sigma_z = \frac{h}{\sqrt{2}}$

En el caso de partículas sedimentables la fórmula de Pasquill-Gifford aparecerá modificada por un factor  $V_f$ , velocidad de caída libre en el aire, en la forma siguiente para el caso de inmisión a nivel del suelo y en la dirección coincidente con la del viento, siendo el valor de  $G$ , o nivel de sedimentación por unidad de superficie en  $\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{seg}$ . dado por:

$$G = \frac{Q_p \cdot V_f}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{h-x-\frac{V_f}{u}}{\sigma_z} \right)^2}$$

siendo  $Q_p$  la emisión de partículas sedimentables.  $V_f$  debería determinarse experimentalmente siempre que fuese posible; si no, se puede evaluar mediante la relación:

$$V_f = \frac{2V_p g(\delta_p - \delta_a) D_p}{\mu_a A_p Re C_D}$$

donde:

$V_p$  Volumen de la partícula ( $\text{m}^3$ ).

$\delta_p$  Densidad de la partícula ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$\delta_a$  Densidad del aire ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$D_p$  Diámetro de la partícula (m).

$\mu_a$  Viscosidad dinámica del aire ( $\text{Kg}/\text{m} \cdot \text{s}$ ).

$A_p$  Sección de la partícula ( $\text{m}^2$ ).

$Re$  Número de Reynolds =  $\frac{\delta_a V_f D_p}{\mu_a}$

$C_D$  Coeficiente de arrastre.

$g$  Aceleración de la gravedad ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

El coeficiente de arrastre  $C_D$  para partículas de forma aproximadamente esférica puede deducirse del valor del número de Reynolds según:

$$\begin{array}{ll} 24/Re & \text{para } Re < 3 \\ 14/\sqrt{Re} & \text{para } 3 \leq Re \leq 500 \\ 0,44 & \text{para } 500 < Re \end{array}$$

Como aproximación práctica para la evaluación de caída de las partículas se puede utilizar la indicada en la FIGURA 21, a partir de la densidad y diámetro de las partículas.

#### Coeficiente de difusión

Los coeficientes de difusión  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  en metros, se evaluarán de acuerdo con el criterio:

$$\sigma_x = ax^n$$

$$\sigma_y = bx^q$$

siendo  $x$  la distancia a la fuente, en metros, y  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $q$  coeficientes con los valores indicados en la TABLA XIII según las condiciones de estabilidad correspondientes.

Este modelo puede suministrar diversa información. Fundamentalmente se utiliza en los siguientes casos:

- Como modelos de predicción en la evaluación del impacto ambiental de un foco potencialmente contaminador de la atmósfera, nuevo o existente.
- Optimización de la altura de las chimeneas para instalaciones industriales.
- Diseño de redes de vigilancia de la calidad del aire.
- Determinación de la capacidad de carga contaminante de un centro urbano o zona industrial.
- Planificación urbana e industrial.
- Estudios para determinar la situación preoperacional de un proyecto. Determinación de la contaminación de fondo.

Velocidad de  
caída de las  
partículas  
(m/s)

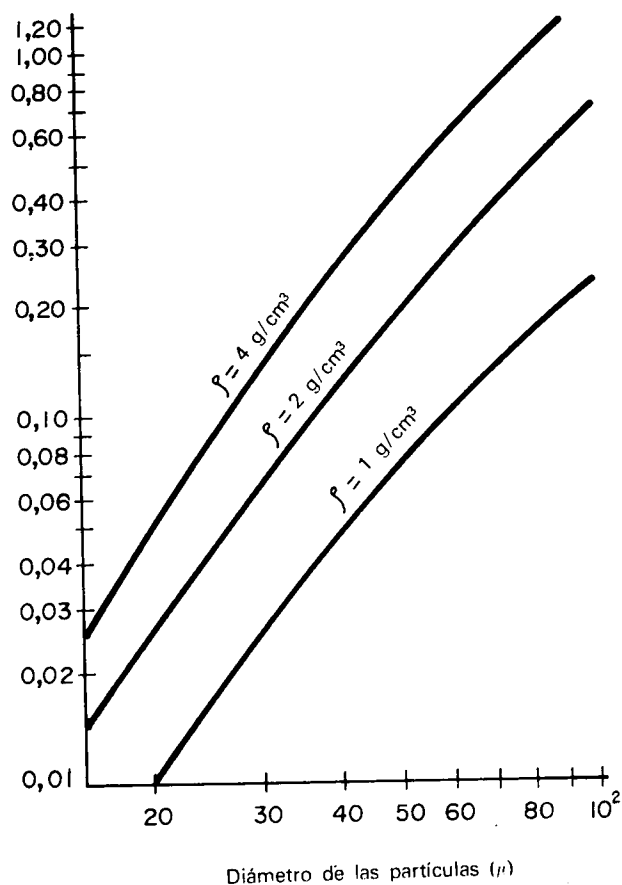


FIGURA 21.—Estimación de la velocidad de sedimentación de las partículas.

TABLA XIII

Indices de los coeficientes de  
difusión según clases de estabilidad

Clase de estabilidad	Valor del Índice*			
	a	p	b	q
A	0,40	0,91	0,41	0,91
B	0,36	0,86	0,33	0,86
C	0,36	0,86	0,30	0,86
D	0,32	0,78	0,22	0,78
E	0,31	0,74	0,16	0,74
F	0,31	0,71	0,06	0,71

\* Se supone:  $\sigma_y = ax^n$  |  $x$  = distancia a la fuente (en m.)

$\sigma_z = bx^q$  |  $\sigma_y, \sigma_z$  = Coeficientes gaussianos (en m.)

Los modelos de difusión pueden aplicarse con un ajuste más o menos riguroso a las condiciones físicas del entorno de un determinado lugar. Según la disponibilidad de datos y el objeto del trabajo se operará con mayor o menor detalle.

### REDES DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL MEDIO

Una de las acciones más necesarias para controlar la calidad del medio y realizar un seguimiento del funcionamiento de las industrias, desde el punto de vista ambiental, es la instalación en el entorno de las grandes zonas urbanas e industriales de unas redes de vigilancia, que inicialmente deberían ser, al menos, las siguientes:

1. Red de vigilancia de la calidad del aire.
2. Red de vigilancia de la calidad de las aguas, continentales y marítimas.
3. Control del vertido de residuos sólidos urbanos e industriales.
4. Red de vigilancia de la flora y fauna.

Pero para ello, el primer paso es establecer un CENTRO DE PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE Y DEL AGUA, o bien CENTRO DE MONITOREO DE LA CALIDAD AMBIENTAL, según la extensión que se le quiera dar, que puede depender de las Autoridades Locales (Municipios). Regionales (Autonomías) o los Centros Nacionales.

Es fundamental, en cualquier caso, que exista un Centro Nacional que permita coordinar e integrar en la Red Nacional de Vigilancia y prevención de la Contaminación a los otros Centros Regionales y Locales, puesto que en el caso del agua la vigilancia debe organizarse por cuencas hidrográficas y muchas cuencas corresponden a varias autonomías; las aguas marítimas también deben ser cuidadas y vigiladas desde el punto de vista global y la calidad del aire debe responder a unos criterios, establecidos en la legislación, bajo regulación nacional.

Partiendo pues de la necesidad de ese Centro, se señalan sus objetivos.

**Objetivos del programa de control y vigilancia de la contaminación del aire y del agua, o de la calidad ambiental:**

1. Prevenir y limitar la contaminación de origen industrial.
2. Determinar el grado de contaminación por cada uno de los contaminantes y su procedencia con el fin de que se adopten las medidas correctivas previstas en los diferentes proyectos o que se impongan a los distintos focos que estén en funcionamiento hasta conseguir una calidad del aire con un nivel higiénicamente aceptable y una calidad del agua compatible con sus diversos usos.
3. Prevenir la contaminación de las aguas subterráneas y del suelo.
4. Limitar las descargas industriales de efluentes líquidos, tanto en los ríos como al mar, hasta el punto de que no afecte a estos ecosistemas, a la pesca y a la salud humana.

El Centro puede organizarse administrativamente como se considere más oportuno, pero técnicamente deberá responder a los siguientes criterios:

El equipo técnico deberá ser multidisciplinar e integrado por un conjunto de profesionales que constituirán la «comisión de expertos» como órgano asesor del Director del Centro.

El Centro deberá contar principalmente con dos servicios: laboratorios fijos y red de toma de muestras y medición, o sea la red de monitoreo.

En los Laboratorios Centrales se realizan los análisis, programas de

control, inspecciones de plantas y puntos de vertido, servicios de vigilancia de los episodios de contaminación, realización de encuestas e inventarios de contaminación, sección de actuaciones en situación de emergencia y servicios administrativos.

Las redes de monitoreo pueden establecerse de tipo automático, semiautomático o manual.

Además de las instalaciones de control oficiales, las industrias deberían controlar tanto el funcionamiento de las instalaciones internas para reducir la contaminación como una parte importante del sistema de monitoreo externo a sus factorías.

**RED DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE**

Por vigilancia de la calidad del aire se entiende el conjunto de métodos que permiten determinar las características de la atmósfera, especialmente en lo que se refiere a la concentración de contaminantes en el aire, con el fin de satisfacer los criterios de calidad del aire establecidos en los programas de gestión del aire y legislación correspondiente.

La red de vigilancia es un subsistema del programa de gestión de la calidad del aire y debe operar estrechamente unida, por ejemplo, al servicio de elaboración de inventarios de emisiones, concesión de licencias, inspección de plantas, empleo de combustibles, programas de reducción de las emisiones y utilización del suelo para los diferentes usos.

El diseño de la red de vigilancia y análisis de la calidad del aire, deberá basarse en los siguientes puntos:

- a) Identificar la localización de la concentración máxima de inmisión, en base a los modelos de dispersión atmosférica, una vez que estén definidas las alturas de las chimeneas, antorchas y situados geográficamente los focos de emisión.
- b) Conocimiento de las frecuencias de las distintas situaciones meteorológicas, que dan lugar a las situaciones descritas en el apartado anterior (matriz climatológica de estabildades), mediante la instalación de una torre meteorológica, con una altura mínima de 33 metros para medir los parámetros micrometeorológicos del entorno de la zona objeto de estudio.
- c) Determinación del área afectada por el rango donde se emplazan las anteriores situaciones meteorológicas (en el lenguaje técnico, a

estas áreas se las suele denominar como *zonas de vigilancia potencial*), que depende de la concentración industrial y urbana.

- d) Determinar el área cubierta por un rango de tolerancia alrededor del máximo de concentración estimado.
- e) Utilizando técnicas estadísticas, determinar el número y localización de monitores y el nivel de confianza deseado para la medición de estos niveles máximos de concentración.

Los objetivos principales de una red de vigilancia o muestreo puede sintetizarse en:

- Juzgar la conformidad de la calidad del aire del área considerada con las normas de calidad del aire.
- Señalar los casos de alerta.
- Observar la evolución de la contaminación con el tiempo.
- Aportar los datos necesarios para los proyectos de urbanización o de industrialización futuros y para estudios de contaminación de fondo en los estudios de impacto ambiental.

Respecto a la estructura misma de la red de vigilancia, resulta de la interacción de varios elementos desde el punto de vista técnico y económico que es necesario considerar, aunque es obvio que al final la red de vigilancia será el resultado de una decisión condicionada por las disponibilidades económicas y recursos humanos.

Habría que prever la necesidad de conocer la probabilidad de las situaciones que originan altos niveles de contaminación. Por ejemplo, es altamente improbable que una estación fija mida un nivel alto de contaminación originado por una situación atmosférica muy poco frecuente. Sin embargo, una estación móvil, desplazándose en base a un pronóstico o predicción meteorológica, podría detectar este pico de concentración. Es decir, que el conocimiento de la probabilidad de ocurrencia de las distintas situaciones atmosféricas permite poseer un procedimiento de predicción meteorológica eficaz y poco engorroso a la vez y son elementos valiosísimos a la hora de la toma de decisión de las características, en número y clase, que debe poseer una red de vigilancia o de muestreo.

Otro aspecto que no debe obviarse a la hora de diseñar la red de vigilancia es, junto al nivel de contaminación, el nivel de población. Así, en

principio, la instrumentación automática y continua será preferible en zonas que reúnan la doble condición de ser apreciablemente contaminadas y de una densidad de población notable, mientras que la instrumentación menos sofisticada sería localizada en zonas poco o medianamente contaminadas, con poca población. Las estaciones móviles se destinarían principalmente a controlar episodios en zonas de densidad de población apreciable.

La elección de la posición de las estaciones depende no solamente de la ubicación técnica dada al emplazamiento de la estación, sino que deben considerarse las posibilidades de abrigo, alimentación de energía y protección de actos incívicos hacia la instrumentación instalada.

Otras características importantes que deben considerarse en los puntos elegidos de muestreo son:

- a) Uniformidad de altura del muestreador por encima del suelo.
- b) Ausencia de todo obstáculo en un radio de tres a cinco metros alrededor del orificio del tomamuestras.
- c) Ausencia de toda emisión local de contaminantes.

Una vez considerados estos puntos, es fácil diagnosticar la dificultad de definir, de una forma práctica y operativa, lo que se entiende en un punto determinado por la contaminación de fondo, o contaminación ajena a una fuente emisora considerada.

Este valor de la concentración, no es fijo en el tiempo, depende de las emisiones del entorno de posible incidencia, y a la vez de las llamadas situaciones atmosféricas. Es necesario, por tanto, introducir el concepto de probabilidad, que dependerá no sólo de las emisiones y de la situación atmosférica, sino también del foco emisor del que se quiere evaluar su incidencia, y se necesita estimar el valor de la contaminación de fondo.

El número de puntos de control es función de las condiciones de la zona.

Cada uno de los puntos de monitoreo deberá ir equipado con los instrumentos y aparatos precisos para muestrear, como mínimo, los siguientes parámetros:

Contaminantes:

- $\text{SO}_2$
- $\text{NO}_x$
- Partículas sólidas.

Parámetros meteorológicos en algunas de las estaciones de monitoreo:

- Dirección del viento.
- Velocidad del viento.
- Temperatura.
- Humedad.

El laboratorio de análisis deberá equiparse con instrumentos automáticos y si es posible, la red debería contar también con monitores automáticos conectados a una computadora central de datos ubicada en el Centro de Control.

### Métodos de medida de los contaminantes atmosféricos

Los métodos de referencia a utilizar para el análisis y determinación de los contaminantes pueden ser los siguientes:

<i>Contaminante</i>	<i>Método de referencia</i>	<i>Principio</i>
SO <sub>2</sub>	Pararosanilina	Colorimetría
NO <sub>x</sub>	Fase gaseosa	Quimiluminiscencia
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	Cromatografía en fase gaseosa	Ionización a la llama
Partículas sólidas	Muestreadores de gran volumen	Gravimetría
CO	Espectrometría en infrarrojos no dispersivos	Infrarrojos
Oxidantes totales	Reacción O <sub>3</sub> -etileno en fase gaseosa	Quimiluminiscencia

### Métodos físico-químicos para medir contaminantes en la emisión

Se han desarrollado numerosos métodos físico-químicos para medir los distintos contaminantes en la emisión.

- a) *Medición de partículas sólidas:* Es el grupo de contaminantes más difícil de medir: se utilizan, sobre todo, métodos gravimétricos. Existen también equipos que permiten determinar la granulometría de las partículas en suspensión, la masa de las partículas de ciertos diámetros, y el número de ellas.
- b) *Medición del dióxido de azufre.* Existen numerosas técnicas de análisis químicos tradicionales: método del agua oxigenada, método de la Thorina, métodos electroquímicos, método de quimiluminiscencia, y determinación de las partículas en suspensión por reflectometría, gravimetría y nefelometría.
- c) *Medición del trióxido de azufre y del ácido sulfúrico.* Método de valoración por perclorato bórico, en presencia de thorina.
- d) *Medición del monóxido de carbono.* Se determina fundamentalmente siguiendo métodos automáticos, como la absorción infrarroja no dispersiva o bien por cromatografía en fase gaseosa, métodos para los que la respuesta es favorable.
- e) *Medición de los óxidos de nitrógeno.* Las técnicas más empleadas son: la quimiluminiscencia, la absorción ultravioleta, y un método manual consistente en hacer reaccionar una muestra de gas a analizar con una mezcla de peróxido de hidrógeno y ácido sulfúrico, produciendo ácido nítrico.  
Mediante el empleo de ácido fenoldisulfónico, se determina el incremento del nivel de nitrato por comparación con disoluciones standard de nitrato de potasio. El límite de detección es del orden de 5 ppm.
- f) *Medición de los hidrocarburos quemados.* Se emplea un método automático: la cromatografía de fase gaseosa con detección mediante ionización de llama (FID), que permite determinar el contenido en carbono total de los gases muestreados, excepto el CO<sub>2</sub>. El resultado se expresa en un hidrocarburo patrón: metano o butano, según la calibración que se emplee.

- g) *Medición de sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.* El sulfuro de hidrógeno se absorbe en sulfato de cadmio tratando el sulfuro formado con ácido clorhídrico, y valorando con tiosulfato sódico, en presencia de almidón como indicador.

Los mercaptanos se absorben en disolución de nitrito de plata, tratándose con cloruro sódico el sobrante de nitrato, y valorando el exceso de cloruros mediante nitrato de plata en presencia de cromato sódico como indicador.

La determinación cuantitativa de los contaminantes atmosféricos por métodos químicos, físicos o físico-químicos, no permite conocer las complejas relaciones existentes entre la contaminación del aire y los daños sufridos por los animales y plantas por la falta de especificidad para la sustancia en cuestión y sensibilidad insuficiente para determinar niveles bajos de concentración.

Como cada día tienen mayor significación los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la vegetación, peces, el suelo y el agua (caso de las lluvias ácidas), se indican también los métodos para controlar los efectos de la contaminación sobre la vegetación.

### Métodos químicos para medir la contaminación en la vegetación

Entre las consecuencias más preocupantes de la contaminación atmosférica están los daños causados a la vegetación y a la agricultura en general. Tienen una incidencia especial las lluvias ácidas.

Las plantas muestran una especial sensibilidad y especificidad de respuestas a la mayor parte de los contaminantes atmosféricos, sufriendo daños significativos a concentración de aquéllos muchos más bajas que las que afectan a los seres humanos y animales.

Los efectos y síntomas producidos en las plantas por diversos contaminantes, pueden agruparse en seis categorías:

- a) Necrosis foliar: áreas localizadas de tejido completamente muertas, adquiriendo una coloración de marrón a blanco.
- b) Abrillantado, o glacé y argentado: las células superficiales están dañadas de un modo característico.

- c) Clorosis: parte del tejido adquiere una coloración de verde pálido a amarillo.
- d) Manchado o moteado, caracterizado por manchas puntuales necróticas.
- e) Supresión del crecimiento.
- f) Otros efectos fisiológicos.

Además, hay que señalar que, a veces, se producen pérdidas de cosechas enteras, por ejemplo por depósito de polvo, sin que lleguen a aparecer efectos fitopatológicos.

El mecanismo consiste, de modo general, en la penetración del contaminante por los estomas, y difusión por el espacio intercelular, dando lugar a trastornos en la permeabilidad de las membranas celulares y aumentando las pérdidas de agua, con lo que los órganos tiernos comienzan a marchitarse. A continuación, tiene lugar la destrucción de las membranas y de la clorofila.

Considerando la respuesta de los vegetales a los contaminantes, se observa que, si bien los agentes que causan daños a las plantas son casi los mismos que los que perturban a los organismos animales, mientras que para éstos se puede afirmar con precisión, que concentraciones de sustancias extrañas producen efectos dañinos, para la vegetación es totalmente distinto.

Para los animales se puede calcular exactamente la cantidad de aire aspirada por unidad de tiempo, y por lo tanto la de los contaminantes absorbidos. Por el contrario, las plantas verdes, disponen de gran superficie externa e interna para realizar la función clorofílica, por lo que la compleja estructura de los vegetales hace difícil el cálculo del volumen de gas aspirado.

Existen, además, numerosos factores que modifican las relaciones entre las concentraciones de los contaminantes y sus efectos sobre las plantas. Entre éstos hay que destacar los siguientes:

- El tiempo de exposición. edad del organismo o sus tejidos sensibles.
- Las condiciones ambientales que alteran la predisposición de partes de la planta a los daños.
- Factores climáticos: calor. humedad, luz, viento.
- Factores orográficos: como situación e inclinación.
- Factores edafológicos: propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

- Factores bióticos: influencia de otras plantas, animales y el hombre.
- Constitución de la planta: genotipo y fenotipo.

La diversidad de factores que hay que tener en cuenta al relacionar los datos de análisis físico-químicos con los posibles efectos de la contaminación atmosférica, dificulta enormemente el establecimiento de valores límite de contaminantes, y da lugar a confusiones en el momento de elaborar un diagnóstico.

### **Métodos biológicos, indicadores de la contaminación atmosférica. Bioensayo**

El bioensayo consiste en la inspección de las plantas y evaluación de los daños, y proporciona un índice de daños muy útil e independiente de las condiciones ambientales.

- El bioensayo, además de constituir un método para evaluar las pérdidas de cosechas, suministra otras clases de información, como:
  - La fuente o fuentes de fitotóxicos.
  - En las fuentes locales de contaminantes, permite valorar la efectividad de los equipos de control.
  - Identificación de los contaminantes presentes, basándose en la respuesta característica de las plantas a fitotóxicos específicos.

Diversos autores han empleado el sistema de inspección de la cubierta vegetal como indicador de la calidad del aire.

Muchos estudios han puesto de manifiesto la sensibilidad de los líquenes a las impurezas atmosféricas, sobre todo al  $\text{SO}_2$ , cuya presencia determina la distribución de los líquenes, siendo uno de los primeros indicadores naturales de la calidad del aire. Es el componente algal el que muestra una extraordinaria sensibilidad al anhídrido sulfuroso, que produce graves daños, bien por disminución temporal de la fotosíntesis o bien por necrosis de los tejidos.

La correcta evaluación y diagnóstico de los daños producidos por los contaminantes atmosféricos, mediante el método del bioensayo, exige la consideración de factores como la sensibilidad relativa de las especies de plantas a los distintos fitotóxicos, la distribución y relación geográfica de las plantas afectadas, respecto a la fuente de contaminación y las condiciones de cultivo, enfermedades de plantas, ataques de insectos y otros semejantes.

## **Impacto sobre el agua**

Todos los estudios de Impacto ambiental están relacionados de un modo u otro con el agua, porque el agua, junto con el aire, la tierra y la energía, constituyen los recursos básicos para el desarrollo.

Cualquier actividad se apoya en la utilización del agua. La disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficiente es uno de los factores determinantes de la calidad de vida.

La industria necesita, en gran número de actividades, agua como materia prima, para muchos procesos y servicios; los usos domésticos, municipales y comunitarios tienen cada vez mayor incidencia, pero los mayores consumos de agua se producen en la agricultura. La agricultura utiliza más del 80 por 100 del agua disponible. De ahí la importancia que tiene optimizar la gestión de los recursos hídricos y el uso del agua, aplicando criterios y técnicas que permitan una utilización racional de este recurso básico.

### **AGUAS CONTINENTALES**

#### **Los recursos de agua en España**

La esorrentía media total (superficial y subterránea) en España supone unos 110.000  $\text{Hm}^3/\text{año}$  para una superficie de unos 500.000  $\text{Km}^2$  lo que arroja una esorrentía específica de unos 220 mm por año, cifra algo infe-

rior a las medias mundial y europea, situadas en el entorno de los 300 mm.

De forma aproximada, nuestro patrimonio hídrico se descompone como se indica en el CUADRO II, de acuerdo con la regionalización hidrográfica vigente.

Las disponibilidades de agua en España no son pequeñas, si bien es cierto que no están bien repartidas. Hay unas cuencas —Norte, Duero, Tajo y Ebro— con un excedente de recursos, especialmente las del Norte, y las demás son deficitarias.

En Canarias y Baleares los recursos hídricos disponibles son mucho menores.

Para la población de 1982, unos 37.833.000 habitantes, los recursos naturales totales suponen 2.907 m<sup>3</sup>/habitante/año, cifra de relativa importancia si se compara con las de Europa occidental. El valor medio para

CUADRO II

Recursos naturales - escorrentía en Hm<sup>3</sup>/año

Cuenca	Drenada por los ríos			Drenada subterráneamente de forma directa al mar	Total general
	Superficial directa	A través de infiltración subterránea	Total		
Norte .....	33.100	4.100	37.200	1.500	38.700
Duero .....	14.450	1.450	15.900	—	15.900
Tajo .....	8.050	2.200	10.250	—	10.250
Guadiana .....	4.350	700	5.050	50	5.100
Guadalquivir .....	7.100	2.100	9.200	200	9.400
Sur .....	1.800	450	2.250	440	2.690
Segura .....	450	500	950	10	960
Júcar .....	2.600	1.200	3.800	1.300	5.100
Ebro .....	15.800	3.050	18.850	100	18.950
Pirineo O. ....	2.300	250	2.550	700	3.250
<b>TOTAL PENINSULAR</b>	<b>90.000</b>	<b>16.000</b>	<b>106.000</b>	<b>4.300</b>	<b>110.300</b>
Islas Canarias .....	355	—	355	610	.965
Islas Baleares .....	210	—	480	690	1.170
<b>TOTAL GENERAL</b> ...	<b>90.565</b>	<b>16.000</b>	<b>106.835</b>	<b>5.600</b>	<b>112.435</b>

los países del Mercado Común es de 2.460 m<sup>3</sup>/habitante/año y si se añaden Austria, Suiza, Portugal y Checoslovaquia, para tener en su conjunto geográfico toda la Europa occidental, la disponibilidad teórica sería de 2.690 m<sup>3</sup>/habitante/año. Estas cifras son bastante superiores a los volúmenes que hoy se estiman necesarios a largo plazo.

Aunque, considerada en su conjunto, España cuenta con recursos naturales en cantidad que se estima suficiente, para poder disponer de una parte sustancial de estos volúmenes de agua, es necesario corregir dos graves defectos que presenta nuestra hidrografía: la irregularidad en el tiempo y la irregularidad en el espacio.

Respecto a la irregularidad en el tiempo, cabe decir que nuestros ríos se comportan realmente como torrentes, por ser producto de un régimen de lluvia muy variable tanto a lo largo del año como de unos años a otros. Las posibilidades prácticas de obtener agua de ellos dependen de la capacidad de embalse de que se disponga en cada momento, para acomodar a las demandas los irregulares regímenes de la precipitación.

En el CUADRO III se señalan las aportaciones medias de las cuencas que integran las diez regiones hidrográficas peninsulares, así como las aportaciones anuales mínimas registradas. Se dan también las disponibilidades naturales estimadas para dos tipos de regímenes de demanda: uniforme, representativo de abastecimientos domésticos e industriales, y variable, como corresponde a la demanda de regadíos. Tanto en un caso como en otro se ha considerado una garantía del 96 por 100, según datos del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.\*

La distribución geográfica de los recursos es también muy desigual. La escorrentía natural varía enormemente de unas cuencas a otras, con oscilaciones en las aportaciones por unidad de superficie que varían de 1 a 13. Como rasgo fundamental de esta distribución desigual puede citarse la región hidrográfica del Norte de España, que comprende las cuencas de los ríos vertientes al Atlántico entre las fronteras portuguesa y francesa, y que con sólo algo más del 11 por 100 de la superficie del país dispone de más de la tercera parte de los recursos naturales, circunstancia por la que se la conoce como la España húmeda. Las cuencas del Norte de España constituyen la verdadera reserva de recursos hídricos de la Península.

El resto del país se engloba dentro de la denominación de España seca, y sus aportaciones específicas son inferiores a la cuarta parte de las de

\* «El agua en España». Centro de Estudios Hidrográficos. MOPU. Madrid, 1980.

CUADRO III  
Aportaciones y regulación natural

Cuenca	Aportación media Am (Hm³/año)	Aportación del año más seco. As (Hm³/año)	Volumen regulado natural (Hm³/año)	
			Régimen uniforme	Régimen variable
Norte .....	37.200	16.200	2.550	940
Duero .....	15.900	5.550	840	350
Tajo .....	10.250	750	360	125
Guadiana .....	5.050	200	10	5
Guadalquivir ....	9.200	1.000	920	405
Sur .....	2.250	550	50	20
Segura .....	950	450	130	60
Júcar .....	3.800	1.350	710	320
Ebro .....	18.850	8.000	3.460	2.145
Pirineo O. ....	2.550	750	160	75
TOTALES	106.000	34.800	9.190	4.445

NOTA. — En la España insular las aportaciones del año más seco y los volúmenes naturales regulados resultan despreciables.

la España húmeda. Dentro de la España seca cabe destacar, a su vez, las cuencas del Duero, Tajo y Ebro que presentan unas condiciones hidrológicas mucho más favorables que las restantes, y disponen de más del 65 por 100 de los recursos naturales de dicha área.

La España seca menos favorecida hidrológicamente (mitad sur de la Península y litoral mediterráneo) presenta la agricultura de mayor valor económico del país. Por otra parte, la población de España, con excepción de la capital de la Nación, vive en su mayor parte en áreas próximas a la costa.

Estas circunstancias nos colocan frente al hecho real de que el litoral mediterráneo será fuertemente deficitario para atender sus futuras demandas, si se tienen en cuenta sólo los recursos locales, pues disponiendo de

poco más del 10 por 100 de los recursos naturales del país, alberga más del 30 por 100 de la población y el 70 por 100 de la industria turística. No es previsible una reducción de este porcentaje en el futuro por tratarse de áreas sujetas a un fuerte ritmo de desarrollo (industrial, agrícola, turístico, urbano).

En la Península destaca la abundancia de los recursos del Norte, Duero y Ebro, frente a las moderadas cifras del litoral mediterráneo, en particular las correspondientes a las cuencas del Segura y Pirineo Oriental. En la España insular, los problemas fundamentales se derivan de la limitación de recursos naturales per cápita, muy inferiores a la media peninsular, pero comparables a los de algunas de sus regiones.

En el CUADRO IV se presenta la distribución de los recursos de agua per cápita, para la población de España en 1975, de 35,2 millones de habitantes en las diferentes cuencas.

En la FIGURA 22 aparece la regionalización española en las 10 cuencas hidrográficas de la España peninsular, además de Canarias y Baleares.

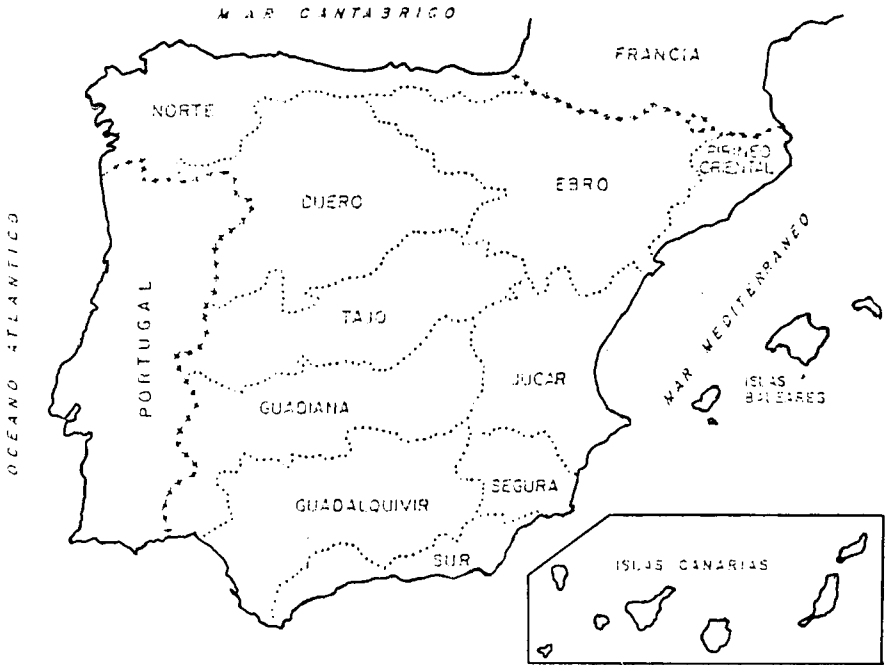


FIGURA 22.—Regionalización española a efectos de gestión y administración de los recursos hidráulicos.

CUADRO IV  
Recursos naturales per capita

<i>Cuenca</i>	<i>Recursos naturales Hm³/año</i>	<i>Población Millones habitantes</i>	<i>Recursos hídricos per cápita m³/hab/año</i>
Norte .....	38.700	6,2	6.240
Duero .....	15.900	2,4	6.625
Tajo .....	10.250	4,9	2.090
Guadiana .....	5.100	2,1	2.430
Guadalquivir .....	9.400	4,4	2.140
Sur .....	2.690	1,7	1.580
Segura .....	960	1,1	870
Júcar .....	5.100	3,1	1.650
Ebro .....	18.950	2,6	7.290
Pirineo O. ....	3.250	4,7	690
TOTALES O MEDIAS			
PENINSULARES ....	110.300	33,2	3.320
Islas Canarias .....	965	1,4	695
Islas Baleares .....	690	0,6	1.140
TOTALES O MEDIAS			
ESPAÑOLAS .....	111.955	35,2	3.180

### AGUAS SUBTERRANEAS

Las aguas subterráneas tienen una gran importancia en España. Cubren más del 30 por 100 de la demanda de poblaciones, en usos urbanos e industriales y un 22 por 100 de las necesidades para riego.

En materia de regadíos la superficie total de la España peninsular que utiliza aguas de pozos puede estimarse en unas 540.000 Has. con una dotación media de unos 5.700 m³/Hectárea/año.

La esorrentía subterránea total del país se estima como media en unos

20.000 Hm³ al año; de esta cifra un 80 por 100 aproximadamente vuelve a los ríos y de esta cantidad una parte importante constituye el caudal permanente de los mismos.

La demanda abastecida con aguas subterráneas procede de acuíferos drenados por los ríos, en un volumen de unos 2.175 Hm³/año y unos 2.580 Hm³/año de acuíferos costeros, sumando en total unos 4.755 Hm³/año.

En conjunto se aprecia un fuerte desequilibrio hidrográfico en España, en donde hay, además, un régimen de lluvias muy desigual, con muchos ríos que tienen grandes y rápidas crecidas y fuerte sequía en verano. Este régimen hidráulico tan irregular y tan difícil hace cada vez más necesario el aumento de la regulación de nuestras cuencas.

Se dispone de una capacidad de almacenamiento de unos 42.000 Hm³, a través de más de 700 grandes presas. Está previsto aumentar un 50 por 100 la capacidad de regulación con numerosos nuevos embalses, la mayor parte de usos múltiples, que permitirán regular y disponer mejor del patrimonio hidráulico.

Nuestros ríos tienen una longitud total de 72.000 Km, pero son mucho más importantes las aguas reguladas, procedentes de embalses y las aguas subterráneas, que las agua fluyentes, que provienen directamente de los ríos.

### Usos del agua

El agua no es sólo un elemento básico en la constitución de los seres vivos sino también una materia prima de primer orden en cualquier actividad.

Hay unos usos prioritarios del agua y otros secundarios. Entre los primeros cabe citar los abastecimientos —domésticos, municipales e industriales—, los de la agricultura y ganadería y los de carácter ecológico y ambiental. Entre los usos secundarios están los energéticos, los recreativos, la navegación y la recepción de efluentes residuales de origen doméstico e industrial, cuando las corrientes fluviales tienen capacidad para depurar estos vertidos.

Hay que distinguir entre demanda y consumo. La demanda es la cantidad de agua que es preciso suministrar para un uso determinado. El consumo es la pérdida de agua que ese uso implica.

Así, los usos urbanos e industriales tienen, para una población de 37 millones de habitantes, una demanda total de unos 4.600 Hm³/año.

En la agricultura el consumo es muy alto, puesto que la demanda es el 80 por 100 del total de agua y sólo se devuelve el 20 por 100 del agua

utilizada, a través de la escorrentía, que fluye a los ríos o de su acumulación en los mantos acuíferos de las aguas subterráneas.

En cambio, las actividades industriales de producción de energía hidroeléctrica o refrigeración de centrales térmicas, tienen demandas altas y consumos muy bajos, puesto que prácticamente toda el agua utilizada retorna al cauce de donde ha sido tomada.

### *Contaminantes del agua*

La contaminación del agua se define como la alteración de su calidad natural por la acción del hombre, que hace que no sea, parcial o totalmente, adecuada para la aplicación o uso a que se destina. Hay que distinguir dos conceptos, implícitos en esta definición, que son los de calidad natural y la aplicación o uso a que se destina.

Se entiende por calidad natural del agua al conjunto de características físicas, químicas y bacteriológicas que presenta el agua en su estado natural en los ríos, lagos, manantiales, en el subsuelo o en el mar.

La calidad que debe tener el agua es diferente según el uso al que se aplique, puesto que no es lo mismo el suministro de agua potable a poblaciones que el agua necesaria para el riego o para la producción de energía hidroeléctrica. Por consiguiente, un agua que puede resultar contaminada para un cierto uso puede ser perfectamente aplicable a otro; de ahí que se fijen criterios de calidad del agua según los usos.

Los elementos o sustancias que pueden contaminar las aguas son muchos y de naturaleza física, química y biológica; pero en general, no se consideran todos los elementos, sino algunos de los más significativos y determinados indicadores o parámetros de contaminación, porque definen mejor el grado de contaminación de las aguas que el análisis individualizado de cada uno de los elementos. Las características e indicadores que suelen considerarse son los que se señalan a continuación:

- Materia orgánica.
- Sólidos en suspensión.
- Sales inorgánicas.
- Ácidos y alcalis.
- Líquidos y sólidos flotantes.
- Color.
- Agua a temperatura elevada.

- Productos tóxicos.
- Microorganismos.
- Sustancias radiactivas.
- Compuestos que producen espumas.

El oxígeno disuelto es el elemento más importante en el control de la calidad del agua. Su presencia es esencial para mantener las formas de vida biológica y el efecto de un vertido orgánico en un río, se conoce especialmente por el balance de oxígeno del sistema. El oxígeno es poco soluble en el agua. Las concentraciones dependen de la temperatura, la altitud y el contenido de sales.

Las aguas limpias están saturadas normalmente con oxígeno que se puede eliminar rápidamente por la reacción de residuos orgánicos.

La materia orgánica consume el oxígeno de los ríos y crea olores y gustos desagradables, en general, condiciones sépticas. Los peces y la mayor parte de la vida acuática se asfixian por falta de oxígeno y la concentración de éste combinada con otras condiciones determina en los ríos la vida o la muerte de los peces. En general el límite para la supervivencia de los peces es de 3 ó 4 mg/l de oxígeno disuelto. Algunas especies de peces no pueden sobrevivir en aguas que contienen 3 mg/l de oxígeno disuelto, mientras que otras especies pueden no ser afectadas, ni siquiera levemente, por la misma cantidad, tan baja, en el nivel de oxígeno.

*Demanda de oxígeno.* Los compuestos orgánicos son, en general, inestables y se pueden oxidar por medios biológicos o químicos, a productos finales estables y relativamente inertes como  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Se puede obtener una información del contenido orgánico de un vertido, midiendo la cantidad de oxígeno requerida para su estabilización. Esta cifra puede expresarse como:

*Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)* que es una medida del oxígeno requerido por los microorganismos para degradar la materia orgánica.

*Consumo de permanganato (V.P.)* que es una medida del permanganato potásico para una oxidación química.

*Demanda química (DQO)* que es una medida del dicromato potásico utilizado para oxidar la materia orgánica.

Los valores de la DQO, DBO o VP indican la degradabilidad de los efluentes.

Los sólidos pueden estar presentes en solución o en suspensión y pueden estar constituidos por materia orgánica o inorgánica. Los sólidos totales disueltos se deben a materiales solubles mientras que los sólidos en suspensión se deben a partículas que se pueden medir por pesada de un filtro, a través del cual pasa el agua.

Los sólidos precipitables son los que forman precipitados que se miden con conos Imhoff.

Los sólidos en suspensión precipitan en el fondo o se depositan en las orillas y se descomponen causando olores y la disminución del oxígeno en las aguas del río. Frecuentemente, los peces se mueren a causa de esta súbita disminución del contenido de oxígeno en la corriente y los sólidos que precipitan en el fondo pueden cubrir las zonas de desove y reducirse la propagación. Si hay lodos apreciables a simple vista, se crean condiciones desagradables e impiden la utilización del río, para recreo. Estos sólidos también aumentan la turbidez de las aguas.

Las sales inorgánicas están presentes en la mayor parte de los residuos industriales, lo mismo que en la propia Naturaleza, endurecen el agua y hacen que no sea utilizable para usos industriales, domésticos o agrícolas.

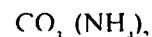
Las aguas cargadas de sales producen incrustaciones en los sistemas de distribución de aguas aumentando la resistencia a la circulación y disminuyendo su capacidad de transporte. Las aguas duras dificultan muchos procesos industriales.

En determinadas condiciones las sales inorgánicas, especialmente nitrógeno y fósforo, aumentan el nivel trófico de los cursos de agua y embalses, dando origen a un problema, cada vez más preocupante, de eutrofización.

El nitrógeno es un importante elemento en los sistemas biológicos. Los procesos biológicos sólo se pueden realizar en presencia de suficiente nitrógeno. Este elemento existe en cuatro formas principales en relación con los problemas de la contaminación:

*Nitrógeno orgánico.* Nitrógeno en forma de proteínas, aminoácidos y urea.

*Nitrógeno amoniacal.* Nitrógeno como sales amónicas como:



o como amoníaco libre.

*Nitrógeno como nitrito.* Un estado intermedio e inestable que no está presente normalmente en cantidades apreciables.

*Nitrógeno como nitratos.* Producto final de la oxidación del nitrógeno.

Las concentraciones relativas de las diferentes formas de nitrógeno dan una indicación útil de la naturaleza y calidad del agua.

El fósforo tiene un papel predominante en el crecimiento de las algas y es el primer condicionante para la eutrofización de las aguas.

Se dice que un curso de agua o un embalse se encuentra en condiciones oligotróficas cuando contiene escasas proporciones de fósforo, nitrógeno y otras materias nutrientes. A medida que aumenta el contenido de dichas materias en las aguas éstas se van clasificando como oligomesotróficas, mesotróficas, mesoeutróficas y eutróficas. Cuando se dan las condiciones eutróficas junto con determinadas condiciones de temperatura, puede originarse un proceso de brusco crecimiento de algas que consumen todo el oxígeno de las aguas y acaban con la vida acuática.

En el CUADRO V se recoge una clasificación de los embalses españoles en cuanto a la calidad de sus aguas, según datos del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Como puede observarse en dicho cuadro, la cuenca del Tajo, con 29 embalses en condiciones eutróficas que tienen 6.533 Hm<sup>3</sup> de capacidad (un 66 por 100 de la total), es la que presenta condiciones más críticas en el país. Le sigue la cuenca del Pirineo Oriental con cuatro embalses y 418 Hm<sup>3</sup> de capacidad (63 por 100 de la total) y a continuación la del Duero con diez embalses y 3.292 Hm<sup>3</sup> de capacidad (51 por 100 de la total).

Considerando como degradados los embalses calificados como mesoeutróficos y eutróficos, resulta que se encuentra en condiciones poco satisfactorias el 44 por 100 de la capacidad total de los embalses españoles, lo que indica la necesidad urgente de corregir las causas que producen esta situación. Esta eutrofia se debe, en la mayoría de los casos, a concentraciones de poblaciones, industrias y explotaciones ganaderas en las respectivas cuencas de alimentación.

Los embalses menos contaminados son lógicamente, aquellos con cuencas de alimentación que disponen de riqueza forestal, estíos suaves y gran renovación, como sucede con las del Norte, Guadiana y Segura.

Los ácidos y álcalis presentes en los vertidos industriales o de otro tipo, hacen que el agua no sea utilizable para usos recreativos como el baño o navegación deportiva, ni para la propagación de los peces o de otra for-

CUADRO V

Clasificación preliminar de los embalses españoles en cuanto a la calidad de sus aguas

Cuenca	N.º embalses reconocidos	Total capacidad reconocida en Hm³	OLIGOTROFICO		OLIGO-MESOTROFICO		MESOTROFICO		MESOEUTROFICO		EUTROFICO	
			N.º	Hm³	N.º	Hm³	N.º	Hm³	N.º	Hm³	N.º	Hm³
Norte	48	3,227	32	1,681 (52%)	8	1,200 (37%)	5	177 (6%)	1	80 (2%)	2	89 (3%)
Duero	31	6,503	12	2,338 (36%)	5	288 (4%)	3	576 (9%)	1	9 (—)	10	3,292 (51%)
Tago	49	9,873	4	558 (6%)	3	54 (—)	13	2,728 (28%)	—	—	29	6,533 (66%)
Guadiana	17	4,037	3	141 (4%)	1	0,3 (—)	4	3,771 (93%)	3	55 (1%)	6	70 (2%)
Guadalquivir	37	4,834	2	555 (11%)	6	1,586 (33%)	9	990 (20%)	7	369 (8%)	13	1,334 (28%)
Sur	5	412	—	—	1	61 (15%)	2	91 (22%)	1	87 (21%)	1	173 (42%)
Segura	11	907	5	723 (80%)	2	86 (9%)	2	65 (7%)	—	—	2	33 (4%)
Júcar	23	2,656	5	251 (10%)	4	32 (1%)	3	87 (3%)	7	2,201 (83%)	4	85 (3%)
Ebro	67	6,446	17	1,954 (30%)	16	914 (14%)	15	876 (14%)	11	933 (15%)	8	1,769 (27%)
Pirineo O.	8	661	—	—	2	178 (27%)	1	62 (10%)	1	3 (—)	4	418 (63%)
TOTALES	296	39,556	80	8,201 (21%)	48	4,399 (11%)	57	9,423 (24%)	32	3,737 (9%)	74	13,796 (35%)

ma de vida acuática. Concentraciones elevadas de ácido sulfúrico suficientes para bajar el pH a menos de 7,0, cuando no hay cloro libre presente, causan irritación en los ojos a los nadadores, rápida corrosión en los cascos de los buques y el deterioro acelerado de las redes de los pescadores. La toxicidad del ácido sulfúrico para la vida acuática es función del pH que resulte, por ejemplo, una dosis que puede ser mortal en aguas blandas, puede no tener importancia en aguas con características reguladoras o en aguas duras. Generalmente se está de acuerdo que el pH en una corriente no debe ser menor de 4,5 ni mayor de 9,5 si se pretende que los peces sobrevivan. Sin embargo, se pueden encontrar valores de pH como 2 y 11 en la proximidad de vertidos industriales.

Los sólidos y líquidos flotantes comprenden aceites, grasas y materiales que flotan en la superficie, dan al río un aspecto desagradable e impiden el paso de la luz a través del agua, retardando el crecimiento de las plantas.

Agua a elevada temperatura. Un incremento en la temperatura de la corriente producido por un vertido, como agua de condensadores, tiene diferentes efectos adversos. Las aguas de los ríos que varían de temperatura rápidamente son de tratamiento difícil en las plantas municipales e industriales y una corriente con agua de temperatura elevada tiene menor valor para refrigeración industrial. Además, una industria puede incrementar de tal forma la temperatura de la corriente que una industria próxima, río abajo, no pueda utilizarla. Por otra parte, como el agua caliente tiene una densidad menor que la fría se produce una estratificación que es causa de que la mayor parte de los peces se retiren en la zona profunda de la corriente. Puesto que hay menos oxígeno disuelto en el agua caliente que en la fría, la vida acuática sufre o hay menos oxígeno para la degradación natural biológica de cualquier contaminación orgánica descargada en las aguas superficiales calientes. También se incrementa la acción bacterial en altas temperaturas, lo que produce una acelerada disminución de los recursos de oxígeno en el río.

El color, producido por fábricas de papel y textiles, curtidos, mataderos y otras industrias, es un indicador de la contaminación. Los componentes presentes en las aguas residuales absorben una cierta longitud de onda de la luz y reflejan las restantes; esa es la razón del color en los ríos. El color interfiere con la transmisión de la luz solar en la corriente y por lo tanto disminuye la acción fotosintética. También puede interferir la absorción de oxígeno de la atmósfera.

*Productos químicos tóxicos.* Los productos orgánicos y los inorgáni-

cos, incluso en unas concentraciones extremadamente bajas, pueden ser peligrosos para los peces de agua dulce y para diferentes microorganismos acuáticos. Muchos de estos compuestos no se eliminan en plantas urbanas de tratamiento, y tienen un efecto acumulativo en el sistema biológico. Algunos insecticidas han producido la muerte de peces en estanques y corrientes, con cierta frecuencia.

Los metales pesados y productos persistentes, no biodegradables, son otras sustancias que se encuadran en el grupo de las sustancias tóxicas y peligrosas.

Son numerosos los productos tóxicos que se canalizan a los cauces receptores a través de los efluentes líquidos. Los productos tóxicos son uno de los aspectos claves que debe considerar un estudio de impacto ambiental.

Por otra parte, casi todas las sales, algunas incluso en bajas concentraciones son tóxicas para cierta forma de vida acuática. Por ejemplo, los cloruros son tóxicos para peces de agua dulce en concentraciones de 400 mg/l. Los compuestos de cromo hexavalente, lo son en concentraciones de 5 mg/l. Concentraciones de cobre tan bajas como 0,1 a 0,5 mg/l., son tóxicas para las bacterias y otros microorganismos aunque las larvas de ostras para desarrollarse necesitan una concentración de cobre de unas 0,05 a 0,06 mg/l. Concentraciones mayores de 0,1 a 0,5 mg/l., son tóxicas para algunas especies. Las tres sales se encuentran frecuentemente en las aguas de los ríos. Los fenoles en concentraciones mayores de una parte por billón pueden causar daños en un curso de agua. El fenol reacciona con el cloro y da al agua un desagradable sabor medicinal, debido a los clorofenoles.

*Microorganismos.* Algunas industrias como las tenerías y mataderos descargan, a veces, aguas residuales conteniendo bacterias. Las industrias de conservas vegetales y frutas pueden añadir también una contaminación a la corriente. Estas bacterias son principalmente de dos tipos.

- a) Bacterias que ayudan a la degradación de la materia orgánica cuando los residuos orgánicos se mueven aguas abajo. Este proceso pueden ayudar a sembrar una corriente (inoculación deliberada) con vida biológica en el propósito de degradar la materia orgánica y modifican la situación de la curva de oxígeno en el agua.
- b) Bacterias que son patógenas, no solamente para otras bacterias, sino también a los humanos. Un ejemplo es el bacilo Anthrax que

procede de fábricas de curtidos en las cuales se han tratado pieles de animales así infectados, o las salmonellas y otras.

También es preciso controlar el vertido de efluentes procedentes de instalaciones que generan residuos radiactivos: Centros de investigación, aplicaciones médicas e industriales de los radioisótopos, centrales nucleares, instalaciones de tratamiento y almacenamiento de residuos radiactivos.

### Fuentes y focos de contaminación de las aguas

Las aguas contaminadas, según su origen, fuentes o focos de contaminación, se denominan del siguiente modo:

- Aguas negras, aguas fecales o aguas servidas, las procedentes del empleo de agua en usos domésticos, o urbanos.
- Efluentes industriales que se refieren a las aguas residuales originadas en la industria.
- Aguas con contaminación agrícola, procedente de los usos agrarios y cuya alteración se debe a la presencia de herbicidas, pesticidas, nitratos, sales y de forma acusada, restos de fertilizantes (abonos químicos) y una fuerte carga de sólidos.
- Efluentes de explotaciones ganaderas.

Gran parte del nitrógeno y fósforo que producen la eutrofización de embalses y cursos de agua proceden de las aguas de usos agrícolas, con restos importantes de fertilizantes. Son fuentes difusas, muy difíciles de controlar.

El sector industrial es, también en este caso, el que presenta una casuística más amplia en la incidencia de sus vertidos sobre la calidad del agua.

En la TABLA XI se indica una relación de actividades previamente catalogadas por el Ministerio de Industria y Energía como productoras de efluentes líquidos especialmente contaminantes.

TABLA XIV

### Actividades con efluentes líquidos especialmente contaminantes

#### Energía

- Centrales Térmicas convencionales y nucleares de más de 20 MW.

TABLA XIV (continuación)

- Refinerías de Petróleo.
- Instalaciones de deslastre de buques.

*Minería*

- Extracción de petróleo y gas natural.
- Minería de carbón.
- Minería metálica.
- Minería no metálica con instalaciones de concentración por vía húmeda.

*Siderometalurgia*

- Siderurgia integral y acerías de más de 1.000.000 t/año.
- Industrias de acabado y tratamiento de superficies metálicas con capacidad de producción superior a 33 m<sup>2</sup>/h o bien con rectificador de corriente de capacidad mayor de 2.000 amperios.
- Talleres de laminación en caliente o frío con capacidad de producción superior a 200.000 t/año.

*Química*

- Fabricación de pasta celulósica.
- Fabricación no integrada de papel o cartón, a partir de pasta o papelote, en industrias con capacidad superior a 3.000 t/año.
- Proceso de destintado de papelote.
- Fabricación de papeles pintados.
- Fabricación de tableros de fibra.
- Fabricación de cloro-alkali.
- Fabricación de derivados del cromo con capacidad superior a 100 t/año.
- Fabricación de alúmina.
- Fabricación de bióxido de titanio.
- Fabricación de fluoruro de aluminio con capacidad superior a 10.000 t/año.
- Fabricación de ácido fosfórico y/o fosfatos.
- Fabricación de ácido cianhídrico y/o sus derivados.
- Fabricación de ácido sulfúrico con capacidad superior a 100.000 t/año.

TABLA XIV (continuación)

- Fabricación de carbonato sódico.
- Fabricación de fertilizantes químicos y abonos orgánicos con capacidad superior a 50.000 t/año.
- Fabricación de metionina.
- Fabricación de fibras artificiales.
- Fabricación de fibras sintéticas.
- Fabricación de pinturas, colorantes, pigmentos y tintas con capacidad superior a 500 t/año.
- Fabricación de jabones y detergentes.
- Fabricación de antibióticos y sulfamidas.
- Fabricación de pesticidas y similares.

*Textil y curtidos*

- Instalaciones del ramo del agua en la industria textil.
- Instalaciones de lavado de lana, integrada con cardado y/o peinado, con producción superior a 10 t/día.
- Curtición de piel grande con capacidad de producción mayor de 50 t/día.
- Curtición de piel pequeña con capacidad de producción mayor de 2 t/día.

*Alimentación*

- Industrias cárnicas con capacidad de producción mayor de 30 t/día.
- Industrias de aceites y grasas.
- Conservas vegetales con capacidad de tratamiento de materia prima mayor de 10.000 t/año.
- Fábricas y refinerías de azúcar a partir de remolacha.
- Fabricación de cervezas y/o malta.
- Fabricación de almidón y/o fécula.
- Fabricación de glucosa y/o gluten.
- Fabricación y rectificación de alcoholes.
- Fabricación de levadura.

TABLA XIV (continuación)

- Conservas de pescado.
- Aceites y harinas de pescado.

#### *Otras actividades industriales no especificadas*

Industrias cuyos efluentes finales, antes de su eventual depuración, puedan contener alguna de las sustancias tóxicas que a continuación se indican:

- Compuestos organohalogenados.
- Compuestos organofosforados.
- Compuestos organoestannicos.
- Mercurio y sus compuestos.
- Cadmio y sus compuestos.
- Cianuros.
- Aldrín/Dieldrín.
- DDT, DDD y DDe.
- Eldrín.
- Toxafeno.
- Bencidina.
- Compuestos fenólicos.
- Cromo hexavalente.
- Sales de metales pesados.

Industrias cuyos efluentes finales, antes de su eventual depuración, puedan corresponder a alguno de los siguientes casos:

- Emisión de DBO<sub>5</sub> superior a 1.000 kg/día.
- Emisión de sólidos en suspensión superior a 1.000 kg/día.
- Emisión de DQO superior a 4.000 kg/día.
- Emisión de aceites minerales superior a 10 kg/día.

#### **Indicadores de calidad del agua**

Llamamos indicadores de calidad del agua a los parámetros físicos, químicos o biológicos que proporcionan una medida de la misma, y permiten eva-

luar cualitativamente los cambios que las diferentes aplicaciones del agua puede originar en su calidad.

Estos parámetros requieren un estudio y selección cuidadosos. Un número elevado de los mismos complicaría enormemente su determinación y un número insuficiente no definiría con claridad la situación actual, ni su evolución en el tiempo y la red de vigilancia establecida no cumpliría su objetivo.

El valor de los indicadores de calidad ha de establecerse teniendo en cuenta los usos fundamentales.

#### *Determinación de la calidad del agua*

La calidad del agua puede determinarse por dos métodos:

- Físico-químicos.
- Biológicos.

Se está produciendo la utilización creciente de indicadores biológicos, ya que permiten conocer la evolución de la calidad del agua al ser representativos de unas situaciones medias a las que se han adaptado los organismos más calificados para este medio ambiente. Inversamente, si se estudian los organismos existentes, se pueden conocer las calidades medias de la zona que han condicionado su existencia y diversidad.

Se exponen a continuación los principales indicadores y los métodos que se siguen para su determinación.

#### *Métodos físico-químicos*

Se basan en el estudio de los factores físico-químicos del agua, y se llevan a cabo mediante una toma de muestras de los sistemas acuáticos, con la determinación de sus características físicas, y con análisis de sus componentes químicos. Estos métodos dan una información valiosa, pero se refieren únicamente al momento en que se obtuvo la muestra; por lo tanto, pueden dar resultados muy alarmantes o, al contrario, pasar desapercibidos factores decisivos para un uso determinado del agua. No indican el estado anterior al de la toma de muestras, ni la capacidad de recuperación natural después de un aporte contaminante, tanto en el tiempo como en el espacio.

### *Métodos biológicos*

Se fundamentan en el estudio de las comunidades de animales y plantas acuáticas. Dado que cada biocenosis o comunidad responde a las condiciones físico-químicas del medio donde vive, cualquier alteración en éstas induce cambios en la comunidad, que se manifiestan en la sustitución de unas especies por otras, o por la variación del número y proporción de cada una de ellas.

Por lo tanto, la caracterización biológica del agua parte de la determinación del grado de alteración de la condición biológica de la misma, cuando se introducen sustancias tóxicas, materia orgánica que pueda descomponerse, o cualquier forma de energía.

Los compuestos orgánicos son primeramente destruidos por los descomponedores (mineralización); los productos intermedios y finales pueden ser utilizados por los consumidores y por los productores primarios. De esta manera, los productos añadidos se incorporan, a través de los organismos, al metabolismo de las aguas. El proceso descrito, en el que también intervienen fenómenos de absorción en el sedimento, se denomina autodepuración. El proceso de autodepuración está, pues, relacionado con los organismos, empezando por las bacterias como descomponedores, hasta los productores primarios, portadores de clorofila.

La importancia de la evaluación biológica de la calidad de un agua, reside tanto en la caracterización de la carga contaminante como en su capacidad de autodepuración biológica, que no puede determinarse exactamente con ningún método químico.

La carga contaminante se puede valorar con determinaciones individuales obtenidas en el momento, pero la integración de los cambios producidos por dicha carga, y sus efectos a largo plazo, sólo pueden indicarlos los análisis biológicos.

### *Indicadores físico-químicos. Materiales en suspensión*

Las aguas residuales, tanto industriales, excepto las utilizadas como agua de refrigeración, como las agropecuarias y urbanas, están cargadas de materiales en suspensión. Estos materiales, según su densidad y las características del medio receptor, son depositados en distintas zonas de éste, produciendo una contaminación.

En el caso de aguas superficiales, el origen de estos materiales en suspensión no es sólo el efluente de las actividades humanas, sino que, en muchos casos, son debidos a la erosión acelerada de los suelos que sigue

a un proceso de deforestación, pastoreo abusivo, o mala práctica agrícola, dando lugar a la obstrucción de cursos de agua o a la colmatación de embalses.

La determinación de los materiales suspendidos en el agua, por técnicas de filtración o centrifugación, aparece ampliamente descrita en numerosos tratados de análisis de aguas.

### *Color*

Algunos productos de desecho, sobre todo los elementos de la industria papelera, de curtidos, tintes,... etc., alteran considerablemente el color de las aguas. Esto tiene como consecuencia una grave contaminación estética, además de dificultar los procesos de fotosíntesis e intercambios de oxígeno.

La determinación del color se realiza, básicamente, por dos métodos: el método del platino-cobalto, y la comparación con discos coloreados.

### *Turbidez*

La turbidez del agua es debida a la presencia de materias en suspensión finamente divididas: arcillas, limos, granos de sílice, materia orgánica, etc. La apreciación de la abundancia de estas materias mide el grado de turbiedad.

La turbidez es tanto mayor cuanto mayor es la contaminación del agua, por lo que es un indicador de interés en el control de la eficacia de los procesos de depuración.

Las medidas de turbiedad se efectúan utilizando el efecto Tyndall, la opacidad o el índice de difusión.

### *Temperatura*

Influye en la solubilidad de las sales y sobre todo de los gases, y en la disociación de las sales disueltas, y por lo tanto en la conductividad eléctrica y pH del agua.

Existe una estrecha relación entre la densidad del agua y su temperatura, por lo que cualquier alteración de ésta modifica los movimientos de mezcla de diferentes masas de agua. Es un parámetro de gran utilidad, desde el punto de vista industrial (agua de refrigeración), para calcular los intercambios térmicos que tienen lugar en el medio.

*pH*

Mide la concentración de iones hidrógeno en el agua. Un pH elevado indica una baja concentración de iones  $H^+$ , y por tanto, una alcalinización del medio. Por el contrario, un pH bajo indica una acidificación del medio. Estas variaciones tienen una repercusión muy importante sobre las biocenosis existentes. Las determinaciones del pH del agua se realizan por métodos colorimétricos o electrométricos; estos últimos se utilizan para medidas más precisas.

*Conductividad eléctrica*

La conductividad, que varía en función de la temperatura, está estrechamente ligada a la concentración de sustancias disueltas y a su naturaleza.

Las sales minerales son, en general, buenas conductoras; las materias orgánicas y coloidales tienen escasa conductividad. Por lo tanto, para las aguas residuales, esta medida no da una idea precisa de la carga contaminante.

*Potencial de óxido-reducción (rH)*

El potencial óxido-reductor (rH) de un agua, es el logaritmo decimal, cambiado de signo, de la presión P (en atmósferas) del hidrógeno gaseoso en equilibrio con el hidrógeno molecular disuelto en la solución. Es un parámetro o indicador que permite hacer observaciones interesantes en las estaciones de depuración.

— Las aguas residuales urbanas, recién recolectadas, tienen un rH aproximado de 100 mV.

Un medio reductor (fosas sépticas, putrefacciones en las canalizaciones, etc) presenta un rH inferior a 40 mV.

— Los valores de rH comprendidos entre 15 y 25 mV caracterizan un medio aerobio que favorece la oxidación de los compuestos orgánicos.

— Los valores de rH de 13 a 15 mV definen la zona de transición entre un medio aerobio y otro anaerobio. En esta zona vira el azul de metileno, reactivo que se utiliza en el test de putrefactibilidad de las aguas.

— Valores de rH inferiores a 13 mV caracterizan medios reductores, aguas sépticas (rH = 13), aguas nauseabundas (rH = 10), etc. El rH se determina por medidas de potenciometría.

*Indicadores de la contaminación orgánica*

La diversa naturaleza de los compuestos orgánicos y de los estados de degradación en que se presentan, desaconseja el empleo de un solo indicador (método o test) para evaluar la contaminación orgánica del agua. Consideramos que dicha evaluación ha de resultar de la comparación, y juxtaposición de los resultados obtenidos, al medir los distintos constituyentes de la materia orgánica.

La oxidación de los compuestos orgánicos para dar anhídrido carbónico y agua, implica un consumo de oxígeno del agua que es renovado a partir del  $O_2$  del aire.

Primeramente, los compuestos carbonados sirven de alimento a los microorganismos aerobios; el nitrógeno oxidado (nitritos, nitratos, amoníaco), es utilizado por las nitrobacterias y nitrosomonas. Estas reacciones pueden, en un medio pobre en  $O_2$ , como las aguas residuales y estancadas, obligar a las bacterias a procurarse el  $O_2$  a expensas, no sólo de los nitratos y nitritos, sino de los sulfatos, dando lugar a sulfuro de hidrógeno.

Estos fenómenos de oxidación que tienen lugar en la naturaleza, son difíciles de reproducir en el laboratorio, y sobre todo llegar a la degradación última de la materia orgánica. No obstante, algunos test como la DBO, ensayo del olor..., etc., permiten apreciar el fenómeno por vía biológica.

Sin embargo, para lograr la oxidación completa de los compuestos orgánicos, se han desarrollado métodos químicos que utilizan reactivos más o menos energéticos, con una metodología precisa.

Los métodos basados en el carbono, denominador común de la materia orgánica, son los más desarrollados, aunque precisan de una instrumentación algo compleja. Las ventajas que presentan es la de ser aplicables a todos los compuestos orgánicos, por lo que permiten apreciar completamente la contaminación, sobre todo en presencia de compuestos difícilmente oxidables.

*a) Carbono orgánico total (COT)*

Es un indicador de los compuestos orgánicos, fijos o volátiles, naturales o sintéticos, presentes en las aguas residuales (celulosa, azúcares, aceites..., etc). Su medida facilita la estimación de la demanda de oxígeno ligada a los vertidos, y establece una correlación con la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y la DQO (demanda química de oxígeno). En presencia de sustancias nitrogenadas, la medida del COT está menos sujeta a

interferencias por dichas sustancias que la medida de la DTO (demanda total de oxígeno).

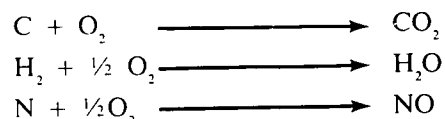
Este indicador también puede aplicarse a las aguas naturales.

*Principio del método:* Por oxidación catalítica a 950° C, los elementos carbonados dan CO<sub>2</sub>, que se mide en un analizador de infrarrojo. El carbono de origen mineral se elimina previamente o se mide por separado.

Los resultados se expresan en miligramos de carbono por litro de agua, o en equivalentes de O<sub>2</sub>.

#### b) Demanda total de oxígeno (DTO)

La demanda total de oxígeno mide el consumo de oxígeno según las siguientes reacciones químicas, que se desarrollan por la combustión catalítica de la materia orgánica:



En las mismas condiciones, los compuestos azufrados se oxidan, dando SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>, en una relación fija.

*Principio del método:* Las materias oxidables se oxidan completamente a 900° C y en presencia de una cantidad conocida de O<sub>2</sub>. Las variaciones de la presión parcial de oxígeno, se siguen por una célula fotoeléctrica específica. Los resultados se expresan en miligramos de oxígeno por litro de agua.

#### c) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO expresa la cantidad de O<sub>2</sub> necesaria para biodegradar (degradación por microorganismos) las materias orgánicas. Este parámetro ha sido objeto de continuas discusiones: sin embargo, mejorando y precisando las condiciones de pH, temperatura y salinidad, constituye un método válido de estudio de los fenómenos naturales de degradación de la materia orgánica. Las dificultades de aplicación, interpretación de los resultados y reproducción, son inherentes al carácter biológico del método.

Hay que considerar que la oxidación de las materias orgánicas no es el único fenómeno que tiene lugar en la biodegradación; a ésta se debe añadir la oxidación de los nitritos y sales amoniacales, así como el consumo de oxígeno por los procesos de asimilación y de formación de nuevas células. Por lo tanto, en la medida de este parámetro, se producen variaciones según las especies de microorganismos, su concentración y edad, según la presencia de bacterias nitrificantes y según la presencia de protozoos consumidores de oxígeno y que se alimentan de bacterias.

Además, a lo largo de los procesos catabólicos, las reacciones de descarboxilación, hidrólisis e hidratación, no consumen oxígeno, pero el elemento intermolecular sí puede emplearse con fines respiratorios, dando lugar a una disminución del oxígeno medido.

Por otro lado, algunas sustancias reductoras, como los sulfuros, sulfitos, hierro ferroso..., etc., que se encuentran en los vertidos industriales, influyen también en el consumo de O<sub>2</sub>. El problema se complica cuando hay mezclas de vertidos de distintos orígenes.

La DBO, en la práctica, permite apreciar la carga del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador, y de ello deducir la carga máxima aceptable. Este indicador se aplica principalmente en el control del tratamiento primario en las estaciones depuradoras.

Para la determinación o cálculo de la DBO, se utilizan dos métodos:

- Métodos de dilución.
- Métodos instrumentales.

#### d) Demanda química de oxígeno (DQO)

Ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse en un curso de agua, captan parte del oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Estas necesidades de O<sub>2</sub>, al margen de todo proceso biológico, se denominan «Demanda Química de Oxígeno» o DQO.

La demanda puede ser muy rápida, como es el caso de los sulfitos en presencia de un catalizador, y entonces recibe el nombre de DIO, demanda inmediata de oxígeno, o más lenta, llamándosele demanda de oxígeno por autooxidación, DAO.

La medida de la DQO es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen, orgánico o mineral (hierro ferroso, nitritos, amoníaco, sulfuros y cloruros). Es un test particularmen-

te útil para apreciar el funcionamiento de las estaciones depuradoras.

La DQO es función de las características de los compuestos presentes, de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación, etc., por lo que la interpretación y reproducción de los resultados no son satisfactorios más que bajo unas condiciones metodológicas bien definidas y estrictas. Este indicador no es fiable en presencia de cloruros.

Para su determinación se utiliza el Método del Dicromato Potásico. También se emplea permanganato potásico para determinar el contenido de materia orgánica.

#### e) *Nitrógeno total*

El nitrógeno orgánico presente en el agua se encuentra formando parte de compuestos tales como proteínas, polipéptidos y aminoácidos.

El método Kjeldahl permite la transformación en amoníaco de los compuestos de origen biológico citados anteriormente, pero no la de los compuestos nitrogenados de origen industrial (oximas, hidracina y derivados semicarbamatos..., etc.), ni el nitrógeno procedente de los nitritos y nitratos. Para determinar estos últimos hay que practicar una reducción en medio alcalino.

El nitrógeno «total» es la suma del nitrógeno presente en los compuestos orgánicos aminados y en el amoníaco.

El nitrógeno orgánico se calcula por la diferencia entre el nitrógeno «total» y el nitrógeno amoniacal.

$$N_2 \text{ orgánico} = N_2 \text{ total} - N_2 \text{ amoniacal}$$

#### f) *Nitrógeno amoniacal*

Se han desarrollado diversos métodos analíticos para determinar la concentración de iones amonio en el agua.

En general, para las aguas de superficie, las destinadas al uso doméstico y las residuales poco cargadas, se utiliza cualquiera de los siguientes métodos:

- Azul de indofenol.
- Ionométrico.
- Microdifusión.
- Flujo continuo.

Para aguas muy cargadas se utilizan métodos volumétricos.

#### g) *Determinación de nitritos*

Según el origen de las aguas, su contenido en nitritos varía, y el método utilizado para su determinación es distinto. Así, para aguas con contenido  $\text{NO}_2$  superior a  $50 \mu\text{g/l}$ , se emplea el «método del reactivo de Zambelli». Para contenidos inferiores a  $50 \mu\text{g/l}$ , el «método de la sulfanilamida» presenta mayor sensibilidad.

#### *Determinación de los compuestos y elementos considerados como tóxicos*

En el CUADRO VI aparecen los elementos tóxicos presentes en el agua, los métodos físico-químicos para su determinación, y la concentración límite establecida por la normativa europea para el agua potable.

Los riesgos de toxicidad varían de unos a otros según su naturaleza y concentración, basándose los conocimientos actuales en observaciones clínicas y experimentación animal. Los riesgos para el hombre son muy difíciles de precisar, dado que las dosis a determinar son muy pequeñas.

#### *Indicadores biológicos*

En el análisis biológico del agua se siguen dos métodos:

- Los que establecen organismos típicos para cada tipo y grado de contaminación, llamados organismos indicadores. En esta línea de estudios se sitúan los métodos bacteriológicos y los fundamentados en el sistema de los saprobios.
- Los que estudian las comunidades acuáticas y las principales características del medio, esto es, la variación de la estructura de la comunidad biótica con los cambios producidos en el medio. A este segundo grupo pertenecen los índices biocenóticos y los índices de diversidad, tróficos y comparativos.

Otra serie de métodos que detectan la variación biológica de la calidad del agua, se basa en determinadas propiedades fisiológicas de los organismos. Entre éstas podemos encontrar:

- La demanda suplementaria de Knöpp.
- Determinación de la actividad del sedimento según Caspers.
- Método de la valoración de la biomasa (BMT).
- Métodos para determinar la toxicidad del agua: Test de toxicidad.

Las dificultades, los límites e insuficiencias que se presentan en el momento de aplicar estos métodos biológicos, han inducido una preocupación investigadora creciente hacia un método simple, rápido, preciso y generalizable a cualquier sistema acuático, y a cualquier tipo de contaminación.

CUADRO VI  
Elementos tóxicos en el agua

	<i>Métodos de medida</i>	<i>Efectos sobre el hombre</i>	<i>Concentración límite</i>
Antimonio	Rhodamina B	Se elimina por vía intestinal y renal	0,1 mg/l
Plata	Colorimetría Absorción atómica	Trastornos digestivos	0,05 mg/l
Arsénico	Método de Cribier Colorimetría Absorción atómica Solarográfico	Perturbación de los procesos de óxido-reducción. Alteraciones del metabolismo de glucídico-lipídico. Cancerígeno	0,05 mg/l
Bario	Absorción atómica	Envenenamiento del tejido muscular: cardíaco y vascular	1 mg/l
	Colorimetría Polarográfico Absorción atómica	Tóxico, se acumula en los riñones. Alteraciones óseas. Hipertensión arterial	0,01 mg/l
Cloratos	Colorimetría	Acción methemoglobini	No existen normas
Cromo	Colorimetría Absorción atómica	Acción tóxica (hepática-renal-cancerígena)	0,05 mg/l
Cobalto	Colorimetría Absorción atómica	Sistema nervioso neuro-vegetativo Sistema cardiovascular	1 mg/l
Cianuro	Microdifusión ionométrico volumétrico colorimétrico	Inhibe el transporte de O <sub>2</sub> por la hemoglobina	0,05 mg/l

CUADRO VI (continuación)

	<i>Métodos de medida</i>	<i>Efectos sobre el hombre</i>	<i>Concentración</i>
Estaño	Colorimetría	Sólo son tóxicas las sales orgánicas. Se solubilizan en los líquidos orgánicos	
Flúor	Electrodo específico	Alteraciones óseas. Alteraciones dentarias. Síntomatología neuro-muscular y gastrointestinal	1,5 mg/l
Mercurio	Titrimétrico Absorción atómica sin llama Colorimetría Absorción atómica	Alteraciones digestivas. Alteraciones renales. Alteraciones nerviosas No se han encontrado. Intoxicación de origen hídrico	0,001 mg/l
Níquel	Colorimetría Absorción atómica	Anomalías biológicas y alteraciones. Se acumula en el organismo	0,1 mg/l a 0,05 mg/l
Plomo	Colorimetría Polarografía Absorción atómica	Anomalías biológicas y alteraciones. Se acumula en el organismo	
Selenio	Colorimetría Polarografía Absorción atómica	Caries dentales. Trastornos digestivos, pulmonares, nerviosos y cutáneos	0,05 mg/l
Talio	Polarografía	Sólo presente en aguas residuales industriales. Diversos síntomas de intoxicación	
Uranio	Fluorofotometría	Toxicidad química radiactiva de los distintos isótopos. Acción sobre las membranas proteicas. (Impide la reabsorción de la glucosa en el tubo renal)	1,8 mg/l
Vanadio	Colorimetría Absorción atómica	Alteración del metabolismo del colesterol, azufre, calcio, etc. Alteraciones enzimáticas. Disminuye las resistencias inmunológicas. Lesiones renales y hepáticas	0,01 mg/l (no existen normas)

En limnología, se dispone de muchos métodos biológicos de estudio de calidad de las aguas, que exigen unos conocimientos muy especializados por parte de taxónomos, ecólogos, microbiólogos, matemáticos..., etc., pero los métodos prácticos, que podrían aplicar técnicos con una formación media adecuada, son muy limitados.

Otro de los inconvenientes que presentan estos métodos propuestos es la relatividad de los criterios de calidad, que habría que establecer en función de los tipos ecológicos de los sistemas acuáticos a estudiar, y que se caracterizan a todos los niveles de la cadena alimenticia por unas biocenosis determinadas.

A pesar de los inconvenientes citados, hay que resaltar a favor de los indicadores biológicos la posibilidad que ofrecen para detectar y evaluar la intensidad y extensión de la contaminación a largo plazo. Esto obedece, a que las biocenosis acuáticas conservan los síntomas de alteración de las propiedades físico-químicas del agua, una vez transcurrida la fase aguda de la contaminación. Por otro lado, existen cada vez mayor número de microcontaminantes de síntesis, para los que la determinación de los efectos biológicos globales es menos aleatoria que el análisis físico-químico de unas sustancias de naturaleza mal conocida, y que actúan en cantidades extremadamente pequeñas.

#### *Indicadores bacteriológicos*

Los análisis bacteriológicos ponen de manifiesto la presencia de bacterias que alteran y modifican la aptitud de un agua para un determinado uso. Estas modificaciones, complejas, pueden ser favorables o desfavorables según la finalidad de uso prevista. Así, la presencia de la bacteria *Salmonella typhi*, asociada a las materias fecales, hace inaceptable el agua para usos de orden higiénico-sanitarios, pero en cambio y debido a otras bacterias que facilitan la destrucción de la materia orgánica y que generalmente la acompañan, aumenta la capacidad autodepuradora del agua. Estos indicadores se aplican principalmente en el control de la calidad del agua destinada a usos domésticos (higiene, alimentación) y sanitarios. También se emplean frecuentemente en las aguas canalizadas (bacterias sulforreductoras).

#### *Indicadores de la calidad higiénico-sanitaria del agua*

El control bacteriológico de la calidad higiénico-sanitaria del agua se realiza mediante:

- La investigación de bacterias patógenas.
- La determinación de bacterias de origen fecal.
- La determinación de bacterias exógenas.

El número de bacterias patógenas para el hombre y los animales presentes en el agua, es muy reducido y difícil de determinar. Por ello, y dado que la mayoría de dichos gérmenes patógenos viven en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente en general, la detección de una contaminación fecal constituye una excelente señal de alarma.

#### *a) Organismos responsables de una contaminación fecal. Indicadores básicos*

Se consideran organismos exclusivamente fecales, «*Escherichia coli*», coliformes fecales y estreptococos fecales. El valor indicador de cada uno de ellos no es el mismo, hecho que hay que considerar en el momento de interpretar los exámenes bacteriológicos. Del mismo modo la técnica de estudio varía de unos grupos a otros.

El término «coliformes» agrupa a diversas especies bacterianas que pertenecen a la familia de las Enterobacteriáceas, y cuya característica fundamental es la fermentación de la lactosa por producción de gas.

El interés indicador de este grupo de organismos obedece a:

- La presencia de gran número de ellos en las materias fecales de los animales de sangre caliente.
- Su resistencia a los agentes antisépticos, y sobre todo al cloro y sus derivados.

Para la determinación de los coliformes en el agua se utilizan dos métodos:

- Colimetría en medio líquido.
- Colimetría en medio sólido.

Una característica común a todas las especies, es su fuerte resistencia frente a los inhibidores bacterianos.

Técnicas de estudio:

- Siembra en un medio de cultivo líquido.

— Filtración a través de membrana de celulosa.

#### b) *Determinación de bacteriófagos*

En el agua se encuentran dos tipos de bacteriófagos que afectan a su calidad:

- Los bacteriófagos fecales; como indicadores de la presencia de éstos, se utilizan algunas cepas de *E.coli* y *Shigella*.
- Fagos específicos de bacterias, que poseen un antígeno, a menudo presente en bacterias patógenas. Entre éstos se encuentra el antígeno  $V_1$  de *Salmonella* que se utiliza para la investigación del fago  $V_1$ .

#### c) *Microorganismos patógenos*

Muchas enfermedades infecciosas se transmiten al hombre por ingestión de agua o de alimentos contaminados. Entre las bacterias transmisoras de enfermedades que se encuentran en nuestras aguas, y para las que se han desarrollado técnicas de investigación, tenemos:

- *Salmonella*.
- *Shigella*.
- *Staphylococcus aureus*.
- *Pseudomona aeruginosa* y
- *Vibrión colérico*.

Estos organismos no se detectan en los análisis rutinarios del agua. Los tests especiales de detección, sólo se llevan a cabo cuando se han observado casos patológicos.

El análisis de las *Leptospiras* es un indicador de la contaminación por excrementos animales. Estos microorganismos dan lugar a cuadros clínicos graves en el hombre y los animales.

#### d) *Microbacterias*

Son indicadoras de la contaminación en las aguas de las piscinas y aguas usadas en general.

#### e) *Bacterias sulfo-reductoras*

Se encuentran generalmente en el suelo, aguas salinas y dulces: pozos, ríos, lagos, etc. También aparecen frecuentemente en las aguas tratadas y distribuidas para el abastecimiento doméstico e industrial. Su presencia está relacionada con la existencia de materias orgánicas, y su proliferación da lugar a la formación de gases malolientes ( $SH_2$ ).

#### f) *Actinomicetos*

Son los responsables de malos olores y el gusto desagradable del agua potable.

#### *Métodos derivados del sistema de los saprobios*

Partiendo del hecho de que algunos organismos, en particular protozoos, bacterias y hongos, se desarrollan selectivamente en aguas contaminadas por materia orgánica, diversos autores han ido elaborando una lista de microorganismos, pertenecientes a distintos grupos sistemáticos, y han propuesto para los sistemas acuáticos en general, una gama de especies consideradas como indicadoras de determinados grados de contaminación orgánica.

Los primeros trabajos fueron realizados por KOLKWITZ y MARSSON en 1902 con los «saprobiensystem» o «sistema de los saprobios», que estudia las comunidades en los sucesivos estados de deterioro y recuperación frente a las contaminaciones de tipo orgánico.

El sistema comprende cuatro grados de saprobios:

- Zona fuertemente contaminada: zona polisapróbica (p).
- Zona muy contaminada: zona alfa-mesosapróbica (a).
- Zona moderadamente contaminada: beta-mesosapróbica ( $\beta$ ).
- Zona apenas contaminada: zona oligosapróbica (o).

Aunque la utilización completa de este sistema necesita la identificación de las especies, y por lo tanto la intervención de especialistas, es relativamente cómodo descubrir en el medio acuático la presencia de algunas formas microscópicas (colonias) de algas, de bacterias u hongos filamentosos, características de un estado más o menos grave de contaminación orgánica. El sistema de los saprobios fue modificado posteriormente y desarrollado por otros investigadores.

### *Indices biocenóticos*

Estudian la variación de la estructura de la comunidad biótica frente a las alteraciones de calidad del medio.

La elección del tipo de biocenosis o comunidad puede basarse en criterios de sensibilidad de los diferentes organismos, frente a la calidad de las aguas.

Considerando toda la componente biótica de un sistema acuático como algas bénticas o epífitas, macrofitas, microorganismos heterótrofos, plancton, macroinvertebrados y vertebrados, la mayoría de los estudios coinciden en que los macroinvertebrados son los más indicados para el control biológico.

Los macroinvertebrados, bénticos, lóticos y perifíticos, al ser elementos fijos que dependen del agua corriente para su subsistencia, son muy sensibles a la contaminación.

En general, según el tipo de comunidad elegida, se obtendrá distinta información acerca de la calidad de las aguas, y distinto grado de exactitud, sin olvidar que no se puede hablar de un grupo determinado como indicador óptimo de calidad, sino que cada uno de ellos debe utilizarse en relación con la actividad para que se quiere determinar la calidad de las aguas.

### *Estudio de la estructura de las biocenosis e indicadores biocenóticos*

La estructura biocenótica se puede estudiar considerando distintos criterios:

- a) La diversidad de sus poblaciones: Indices de diversidad.
- b) Su cadena trófica: Indices tróficos.
- c) La comparación de cada comunidad con una comunidad ideal, establecida como típica para cada sector del medio acuático que se estudia: Indices comparativos.

#### *a) Indices de diversidad*

La diversidad natural de las comunidades puede modificarse por las perturbaciones del medio, y la intensidad de su variación es indicativa de la alteración de la calidad de aquél, ya que se supone que una comunidad en situación climática tiene una diversidad máxima, y en las etapas sucesivas de degradación la diversidad decrece.

La diversidad se define mediante una fórmula matemática (diferente

según los autores), que relaciona el número de especies de la comunidad con sus abundancias.

Los índices de MARGALEF y de MENHINICK son muy sencillos, ya que sólo relacionan el número total de especies con el total de individuos.

Por el contrario, los índices de SIMPSON, MC. INTOSH, SHANON y WILHN DOWIS utilizan la distribución de las poblaciones de las distintas especies.

#### *b) Indices tróficos*

Se fundamentan en el hecho de que, en casos de fuerte contaminación, aparecen enormes poblaciones de especies consumidoras y reductoras, frente a una disminución del número de especies productoras. El índice de GABRIEL, relaciona el número de especies productoras, reductoras y consumidoras.

El «índice biológico de contaminación» (BHP) de HOROSAWA es similar al de GABRIEL, pero omite las bacterias. Trabaja con organismos con clorofila A y organismos sin clorofila B. Este método ha sido adoptado por la OMS en su International Standards for Drinking Water.

#### *c) Indices comparativos*

Los cambios temporales y espaciales de la calidad del agua, y la detección de anomalías atribuibles a dichos cambios, pueden evaluarse comparando entre sí diversas poblaciones.

Un sistema muy sencillo es comparar la composición de especies de las comunidades, destacando ausencias o, mejor, presencias.

Se pueden realizar comparaciones más precisas utilizando abundancias absolutas o relativas, como en los índices de CZEKNOWSKI, RAABE y SOKAL.

Al margen de estos índices, podemos comparar sucesivas parejas de comunidades, o bien comparar todas las comunidades, por medio de una matriz simétrica, cuyo procesado matemático puede dar gran información.

### **Indices de calidad del agua**

Como se ha podido observar son numerosos los parámetros y condiciones que hay que tener en cuenta para determinar la calidad del agua. Por ello, se consideró interesante poder encontrar un valor que representara la calidad del agua englobando en esta cifra un resumen de sus características más importantes. Si este valor fuera verdaderamente representativo, permitiría:

- a) Comparar la calidad del agua en diferentes lugares y en diferentes momentos.
- b) Valorar los efectos de los vertidos contaminantes en los ríos y estudiar los procesos de autopurificación que se producen.

Estos trabajos comenzaron en los Estados Unidos y los llevó a cabo un equipo dirigido por la Dra. Nina I. Mallanda, que los aplicó en 1972 al río Kansas y se estableció un Índice de Calidad (Water Quality Index) definido por la National Sanitation Foundation.

Los resultados se publicaron en el documento de la E.P.A. «Water Quality Index Application in the Kansas River Basin», en febrero de 1974.

En este estudio, y como conclusiones, se establece:

1. El Índice de Calidad (W.Q.I) es un método efectivo de medida y representa adecuadamente las variaciones de calidad que sufre el río Kansas.
2. El Índice de Calidad representa adecuadamente los cambios en la calidad del agua que resultan de los vertidos y escorrentías de los cultivos en el área del estudio.
3. El Índice de Calidad es un método efectivo de representar y valorar la calidad del agua y conocer su variación en la zona estudiada.
4. El Índice de Calidad debe ser adoptado a escala nacional para conocer sus posibles aplicaciones en todo el país como base a la actuación anticontaminante posterior.

Desde esa fecha han sido numerosos los trabajos y aplicaciones de esta metodología en muchos países para disponer de más índices que permitan analizar de forma más simple y concreta las tendencias de la calidad del agua, sintetizando y clarificando la información y su comunicación a los responsables públicos y privados y a la población en general.

En España el ingeniero MARTÍNEZ DE BASCARÁN investigó la aplicación de esta metodología en nuestro país, llegando a resultados muy interesantes.

Para definir el concepto de *calidad de agua* siguió las siguientes etapas:

- Selección de las características necesarias.
- Establecimiento de las escalas de valores correspondientes.

- Definición de la importancia relativa de cada una de las características elegidas.

que es precisamente la forma en que se opera en los estudios de impacto ambiental al seleccionar los factores ambientales y ponderar los valores de los indicadores de impacto.

Para seleccionar las características aplicó los siguientes criterios:

Cualquier número de características podría encajar dentro del Índice de Calidad. Sin embargo, un número demasiado grande de las mismas podría hacer que el Índice no fuera práctico, por lo que consideró que sólo deberían tomarse aquellas características que tuvieran el mayor significado.

También es interesante que permitan la comparación de la calidad del agua de un área a otra, por lo que deben seleccionarse las características más significativas en la mayor parte de la región o del país, donde haya de aplicarse el índice.

Es muy conveniente que los datos se obtengan en los análisis normales que se realizan en el agua, sin que sea preciso hacer análisis especiales.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se eligió como características deseables para el índice las siguientes:

1. pH.
2. Conductividad.
3. Oxígeno disuelto.
4. Consumo de permanganato.
5. Coliformes.
6. Amoníaco.
7. Salinidad.
8. Temperatura.
9. Detergentes.
10. Impurificación aparente.

También estas características son muy conocidas como medidas directas de la contaminación de las aguas, excepto el término «impurificación aparente», que se refiere a condiciones que son ofensivas a la vista o al olfato y afectan al aspecto del río. Esta es una forma de contaminación muy perceptible y, por tanto, se consideró que un índice de calidad del agua debería tener en cuenta este problema.

Posteriormente, segundo paso, se establecieron unas escalas variables de 0 a 100 que permiten obtener unos valores como consecuencia de los resultados obtenidos en los análisis.

Por último, se asignaron pesos diferentes a las características ya indicadas de acuerdo con su importancia en los criterios normales de calidad.

Con esta idea se asignó el valor máximo a los valores de detergentes, conductividad y oxígeno disuelto. A los valores de coliformes, consumo de permanganato y amoníaco se les asigna un valor inferior, siendo el peso específico de cloruros y pH todavía menor.

Obtenidos estos valores se aplica la fórmula:

$$I.C.A. = \frac{\sum C_i P_i}{\sum P_i} k$$

donde  $C_i$  = valor obtenido según el análisis.

$P_i$  = peso de la característica.

$k$  = es una constante que varía de acuerdo con la contaminación aparente del agua, según criterio establecido.

Para realizar estos estudios se ha establecido el programa matemático correspondiente, de forma que se pudieran obtener mecánicamente, los I.C.A., en un centro de cálculo. Su obtención directa es también de una gran sencillez.

Tiene interés comparar cómo se ha definido el Índice de Calidad de la E.P.A., en los Estados Unidos, en comparación con el estudiado en España.

1. Se han fijado unas características fundamentales.
2. Se han establecido unos gráficos que relacionan el resultado del análisis con un valor también variable de 0 a 100.
3. Se han asignado unos pesos relativos a cada valor anterior.

Es decir, un planteamiento general exactamente igual al establecido, en este caso, para definir el I.C.A.

Las características fundamentales que se han elegido en cada caso son:

Water Quality Index (USA).

1. Oxígeno disuelto (% saturación).
2. Coliformes fecales.

3. pH.
4.  $DBO_5$ .
5. Nitratos.
6. Fosfatos.
7. Incremento de temperatura.
8. Turbidez.
9. Sólidos totales.

Índice de Calidad del Agua (España).

1. Oxígeno disuelto (% saturación).
2. Coliformes.
3. pH.
4. Consumo de  $MnO_4K$ .
5.  $NH_3$ .
6. Cloruros.
7. Incremento de temperatura.
8. Conductividad.
9. Detergentes.

Como se puede apreciar, hay tres características comunes: Oxígeno disuelto, pH, incremento de temperatura; dos muy parecidas: medida de la materia orgánica, DBO y medida de coliformes o coliformes fecales; una valoración del nitrógeno que se hace en diferentes estados y una posible relacionada como turbidez y conductividad.

Sin embargo, si se examinan detenidamente las características de ambos índices, se pueden observar que hay ventaja de las del I.C.A., (Índice de Calidad del Agua) sobre las del W.Q.I., (Water Quality Index) por:

- Mayor fiabilidad y rapidez (medida del consumo de  $MnO_4K$  sobre la DBO).
- Más facilidad del análisis de los coliformes sobre los coliformes fecales que, hasta hace muy poco, no se han podido analizar en el campo.
- Es mucho más representativa, fiable y fácil de realizar, la medida de la conductividad que la turbidez.

Ambas fórmulas tienen en cuenta una serie de características que la experiencia recogida señala como más importante en cada país.

En relación con el peso relativo de las diversas características, también se aprecia una gran correlación, dando en ambos casos mayor importancia a características como oxígeno disuelto, materia orgánica, coliformes, etc., sobre pH, temperatura, etc.

### Indicadores específicos en los diferentes sectores industriales

Los estudios de Impacto Ambiental comienzan con un estudio preliminar, del que se obtiene una primera aproximación a los problemas ambientales que el proyecto puede crear en el entorno, se delimita el contenido del estudio y las interrelaciones entre los diferentes atributos del medio e interacciones entre el medio y el proyecto.

El trabajo se simplifica mucho si se dispone de una información básica sobre los efectos ambientales, sobre el aire, sobre el agua, sobre la biota o los aspectos socioeconómicos de una determinada actividad en un emplazamiento conocido.

Con respecto al agua, se conocen, mejor o peor, los factores ambientales más estrechamente relacionados con un proyecto.

En la TABLA XV se indican los parámetros significativos, con respecto a la contaminación del agua, en varias industrias y actividades que en los Estados Unidos de América se considera que pueden causar problemas de deterioro en los cursos de agua en los que son vertidos y cuyo control y vigilancia se estima necesario. Estos parámetros serían los Indicadores de Impacto Ambiental sobre el agua, en cada caso y corresponden a los parámetros seleccionados por la E.P.A. (U.S.Environmental Protection Agency).

En esta TABLA se señalan dos grupos de compuestos; los del grupo I corresponden a los elementos y sustancias que generalmente deben limitarse y controlarse en los vertidos. En el grupo II se indican otros parámetros adicionales cuya limitación o control debe efectuarse casuísticamente y previo estudio del proyecto y del medio receptor.

En España no existe todavía una legislación que establezca unos estándares de calidad por tramos o cuencas, según los usos y la situación del medio hídrico en cada zona, ni tampoco unos límites de emisión establecidos para los efluentes líquidos procedentes de las industrias o colectores municipales.

TABLA XV

INDUSTRIA	Contaminantes Grupo I	Contaminantes Grupo II
Aluminio	Sólidos en suspensión (SS) Cloruros Fluoruros Fósforo Aceites y grasas pH	Sólidos disueltos totales (S.D.T.) Fenoles Aluminio
Automóvil	S.S. Aceites y grasas DBO <sub>5</sub> Cromo Fósforo Cianuros Cobre Níquel Hierro Zinc Fenoles	D.Q.O. Cloruros Nitratos Amoníaco Sulfatos Estaño Plomo Cadmio S.D.T.
Azucareras	DBO <sub>5</sub> pH S.S. Sólidos sedimentables Coliformes totales Aceites y grasas Sustancias tóxicas	Alcalinidad Nitrógeno total Temperatura S.D.T. Color Turbidez Espumas
Bebidas	DBO <sub>5</sub> pH S.S. S. sedimentables Coliformes totales Aceites y grasas Sustancias tóxicas	Nitrógeno Fósforo Temperatura Color S.D.T. Turbidez Espumas
Granjas de ganado	DBO <sub>5</sub> DQO Sólidos totales pH	Coliformes fecales Nitrógeno Fosfatos Carbono orgánico total

TABLA XV (continuación)

INDUSTRIA	Contaminantes Grupo I	Contaminantes Grupo II
Conservas vegetales	DBO <sub>5</sub> DQO pH Sólidos en suspensión	Color Coliformes fecales Fósforo Temperatura Carbono orgánico total Sólidos disueltos
Industrias lácteas	DBO <sub>5</sub> DQO pH Sólidos en suspensión	Cloruros Color Nitrógeno Fósforo Temperatura Carbono orgánico total Toxicidad Turbidez
Productos cárnicos	DBO <sub>5</sub> pH Sólidos en suspensión Sólidos precipitables Aceites y grasas Coliformes totales Sustancias tóxicas	Amoniaco Turbidez Sólidos disueltos totales Fosfatos Color
Producción de fertilizantes nitrogenados	Amoniaco Cloruros Cromo total Sólidos disueltos Nitrato Sulfato Sólidos en suspensión Urea y otros compuestos orgánicos nitrogenados Zinc	Calcio DQO Sustancias químicas pro- cedentes de la depura- ción del gas Hierro Aceites y grasas pH Fosfato Sodio Temperatura
Fertilizantes fosfatados	Calcio Sólidos disueltos Fluoruros	Acidez Aluminio Arsénico

TABLA XV (continuación)

INDUSTRIA	Contaminantes Grupo I	Contaminantes Grupo II
Fertilizantes fosfatados	pH Fósforo Sólidos en suspensión Temperatura	Hierro Mercurio Nitrógeno Sulfato Uranio
Vidrio plano	DQO pH Fósforo Sulfato Sólidos en suspensión	DBO <sub>5</sub> Cromatos Zinc Cobre Cromo Hierro Estaño Plata Nitratos Resinas sintéticas Sólidos disueltos totales Sustancias químicas or- gánicas e inorgánicas
Cemento, hormigón, cales y yesos	DQO pH Sólidos en suspensión Temperatura	Alcalinidad Cromatos Fosfatos Zinc Sulfito Sólidos disueltos totales
Asbestos	DBO <sub>5</sub> DQO pH S.S.	Cromatos Fosfatos Zinc Sulfito S.D.T.
Molienda de granos	DBO <sub>5</sub> S.S. Temperatura	DQO pH S.D.T.
Química inorgá- nica	Acidez-alcalinidad Sólidos totales	DBO <sub>5</sub> DQO

TABLA XV (continuación)

INDUSTRIA	Contaminantes Grupo I	Contaminantes Grupo II
cloro-sosa	Sólidos en suspensión Sólidos disueltos totales Cloruros Sulfatos	Carbono orgánico total Aromáticos polinucleares Fenoles Fluoruros Silicatos Fósforo Cianuros Mercurio Cromo Plomo Titanio Hierro Aluminio Boro Arsénico Temperatura
Industria química orgánica	DBO <sub>5</sub> DQO pH Sólidos en suspensión totales Sólidos disueltos totales Aceites flotantes	Carbono orgánico total Cloruros orgánicos Fósforo total Metales pesados Fenoles Cianuros Nitrógeno total Otros contaminantes es- pecíficos de cada producción
Refinerías de petróleo	Amoniaco DBO <sub>5</sub> DQO Aceites pH Fenoles Sulfuros Sólidos en suspensión Sólidos disueltos totales Temperatura Cromo	Cloruros Color Cobre Cianuros Hierro Plomo Mercaptanos Nitrógeno Olores Fósforo Sulfatos

TABLA XV (continuación)

INDUSTRIA	Contaminantes Grupo I	Contaminantes Grupo II
Refinerías de petróleo		Carbono orgánico total Toxicidad Turbidez Sólidos en suspensión volátiles Zinc
Materiales plásticos y fibras sintéticas	DBO <sub>5</sub> DQO pH Aceites y grasas Fenoles Sólidos en suspensión	Sólidos disueltos totales Sulfatos Fósforo Nitrato Nitrógeno orgánico Amoniaco Cianuros Aditivos y sustancias tóxicas Aromáticos polinucleares Zinc Mercaptanos
Celulosa y papel	DBO <sub>5</sub> DQO Carbono orgánico total pH Sólidos en suspensión Coliformes fecales y totales Color Metales pesados Sustancias tóxicas Turbidez Amoniaco Aceites y grasas Fenoles Sulfito	Nutrientes (nitrógeno y fósforo) Sólidos disueltos totales
Curtición y acabado de pieles y cueros	DBO <sub>5</sub> DQO Cromo total Grasas pH	Alcalinidad Color Dureza Nitrógeno Cloruro sódico

TABLA XV (continuación)

INDUSTRIA	Contaminantes Grupo I	Contaminantes Grupo II
Curtición y acabado...	Sólidos en suspensión Sólidos totales	Temperatura Toxicidad
Acabado de superficies metálicas	DQO Aceites y grasas Metales pesados Sólidos en suspensión Cianuros	
Industria del acero	Aceites y grasas pH Cloruros Sulfato Amoniaco Cianuros Fenoles Sólidos en suspensión Hierro Estaño Temperatura Cromo Zinc	
Industria textil	DBO <sub>5</sub> DQO pH Sólidos en suspensión Cromo Compuestos fenólicos Sulfuros Alcalinidad	Metales pesados Color Aceites y grasas Sólidos disueltos totales Sulfuros Temperatura Sustancias tóxicas
Generación de vapor y centrales térmicas	DBO <sub>5</sub> Cloruros Cromatos Aceites pH Fosfato Sólidos en suspensión Temperatura	Boro Cobre Hierro Zinc Sólidos disueltos totales Compuestos orgánicos no degradables

Sin embargo, el Ministerio de Industria y Energía elaboró un proyecto de Norma regulando los índices básicos de emisión de contaminantes en los efluentes líquidos de los procesos industriales para los principales sectores industriales, que pueden servir como orientación en las Evaluaciones del Impacto Ambiental. A título de ejemplo, se indican en el CUADRO VII

CUADRO VII

**Índices de emisión efluentes líquidos  
Industrias de curtición de pieles y cueros**

Parámetro	Valor
pH	6 - 9
Temperatura	5 °C en exceso de las aguas receptoras
DBO <sub>5</sub>	7,4 kg/t
Sólidos en suspensión	18,0 kg/t
Grasas y aceites	0,75 kg/t
Cromo total (Cr)	0,15 kg/t
Caudal: Piel grande	50 m <sup>3</sup> /t
Piel pequeña	135 m <sup>3</sup> /t

los valores establecidos para las industrias de curtición de pieles y cueros y en el CUADRO VIII, los correspondientes a las industrias de fabricación y refino del azúcar. Esta información puede completarse con las monografías editadas en 1982 por el Ministerio de Industria sobre las tecnologías básicas aplicables a la depuración de los efluentes líquidos de diversos sectores industriales. Estas monografías contienen información sobre consumos de agua, procesos, técnica para reducir la contaminación del agua, sistemas de tratamiento idóneos en cada caso y otros datos de interés.

Por ejemplo, para el citado sector del azúcar, se indican en el CUADRO IX los consumos de agua, en España y en los Estados Unidos, datos que en todo estudio de Impacto Ambiental hay que conocer.

En otros países, para este sector del azúcar se limitan los siguientes parámetros:

## U.S.A.

Según el informe de la E.P.A., en el que se establecen los límites para los efluentes de fabricación de azúcar de remolacha, como una subcategoría del sector Fabricación de Azúcar, los parámetros que se limitan son los siguientes:

## a) Sólo efluentes de condensación barométrica:

- DBO<sub>5</sub>.
- pH.
- Temperatura.

CUADRO VIII

**Indices de emisión efluentes líquidos  
Industrias de fabricación y refino del azúcar**

Subcategoría: *Fabricación de azúcar de remolacha.*

Parámetro	Límite máximo (media de 30 días)	Límite máximo (máximo en 24 horas)
pH	6 - 9	6 - 9
Temperatura	33 °C (*)	33 °C (*)
DBO <sub>5</sub>	6 (kg/t de azúcar)	8,5 (kg/t de azúcar)
Sólidos en suspensión	6 (kg/t de azúcar)	8,5 (kg/t de azúcar)
Coliformes fecales	400 (NMP en 100 ml)	400 (NMP en 100 ml)

Estos valores se entenderán únicamente para las industrias con anterioridad a la fecha de entrada en vigor de estas normas. Para las industrias que se instalen a partir de la promulgación del presente Real Decreto, serán de aplicación los niveles siguientes para la DBO<sub>5</sub> y los sólidos en suspensión:

Parámetro	Límite máximo (media de 30 días)	Límite máximo (máximo en 24 horas)
DBO <sub>5</sub>	5 (kg/t de azúcar)	7,5 (kg/t de azúcar)
Sólidos en suspensión	5 (kg/t de azúcar)	7,5 (kg/t de azúcar)

(\*) La temperatura de 33 °C, deberá ser entendida como la máxima del efluente en época de estiaje, en cualquier otra condición de corriente sólo se admitirá un salto térmico máximo de 3 °C sobre la temperatura normal de aquella.

## b) Efluentes totales:

- DBO<sub>5</sub>.
- TSS (total sólidos en suspensión).
- pH.
- Coli fecal.
- Temperatura.

CUADRO IX

Consumos de aguas, en m<sup>3</sup>/t de remolacha

	U.S.A.	ESPAÑA
— Consumo de agua total (aportación):		
• Máximo .....	25	22,3
• Mínimo .....	1,25	3
• Medio .....	9,2	11,87
— Total agua usada, incluida la recirculada, medio	20,9	21,2
— Consumo de agua en transporte y lavado remolacha:		
• Máximo .....	17	16,5
• Mínimo .....	5	7,6
• Medio .....	11	11,9
— Consumo en proceso:		
Difusión (media) .....	0,92	1,1
— Consumo en dilución y arrastre torta de filtros:		
• Máximo .....	0,42	0,36
• Mínimo .....	0,042	0,13
• Medio .....	0,208	0,26
— Consumo en condensadores barométricos.		
• Máximo .....	18,8	17,5
• Mínimo .....	5,4	3,8
• Medio .....	8,25	7

## FRANCIA

Los parámetros que se citan en la reglamentación francesa (circular del 17.8.73, relativa a las azucareras, azucareras-destilerías y azucareras-refinerías de remolacha - Complemento de la publicación n.º 1001), son los siguientes:

- DBO<sub>5</sub>.
- DQO.
- Materias en suspensión.

En España se consideró que podían adoptarse, en principio, los mismos parámetros seleccionados por la E.P.A., como se indica en el CUADRO VIII.

En las TABLAS XVI y XVII se indican las características representativas de las aguas residuales de una fábrica de azúcar de remolacha y de otra de azúcar de caña, respectivamente. Son datos de la E.P.A., tomados a través de las Monografías citadas del MINER.

TABLA XVI

**Características representativas de las aguas residuales de una fábrica de azúcar de remolacha (1)**

PROCEDENCIA DEL VERTIDO	DBO <sub>5</sub>		SOLIDOS EN SUSPENSION	
	mg/l	kg/tm remolacha	mg/l	kg/tm remolacha
— Transporte y lavado	210	2,25	800 - 4.300	8,5 - 41,5
— Proceso:				
• Cribado pulpa	910	1,56	1.020	1,7
• Prensas pulpa	1.700	1,30	420	0,3
• Silo pulpa	7.000	6,15	270	0,25
— Lechada de tortas filtros	8.600	3,25	120.000	45
— Agua de condensadores	40	0,35	—	—
TOTALES		14,8		55,75 - 88,75

(1) — Todos los valores se basan en una planta sin recirculación ni tratamiento de las aguas residuales.

— Estos datos están tomados de «An Industrial Waste Guide to the Beet Sugar Industry», publicado por la U.S. Public Health Service, a través del MINER.

TABLA XVII

**Características representativas de las aguas residuales de una fábrica de azúcar de caña (1)**

PROCEDENCIA DEL VERTIDO	VOLUMEN VERTIDO m <sup>3</sup> /t. de caña	DBO <sub>5</sub>		MATERIALES EN SUSPENSION	
		mg/l	kg/t. caña	mg/l	kg/t. caña
Condensadores barométricos	10	31	0,31	0	0
Lavado de caña	6,2	293	1,69	2.820	17,5
Purgas de calderas	0,03	1.700	0,051	850	0,025
Exceso de condensados	0,504	10	0,005	0	0
Limpieza suelos	0,042	605	0,025	750	0,032
TOTAL	16,8	2.639	2,08	4.420	17,56

(1) Datos tomados del informe de la EPA, y correspondientes a la PLANTA MODELO de una subcategoría de características intermedias en cuanto a cargas contaminantes de sus efluentes, a través del MINER.

## Métodos de predicción

## Modelos de dilución

Como en el caso de la evaluación del impacto ambiental de un proyecto sobre la calidad del aire, en la determinación de la incidencia de ese proyecto sobre el agua se utilizan métodos de predicción.

El concepto de que se parte es en ambos casos el mismo, aplicado al medio atmosférico o al medio hídrico. Se trata de dispersar los contaminantes, a través de su difusión en el aire o su dilución en una masa de agua.

En el caso del agua la autodepuración de unas aguas contaminadas que tiene lugar en las aguas receptoras, depende del volumen y carga contaminante del vertido, en función del caudal del medio receptor, de su contenido en oxígeno y de su capacidad para reoxigenarse. La capacidad asimiladora o de absorción de una carga contaminante en ríos, lagos, embalses y estuarios, es función de los usos, aguas abajo, de los recursos hídricos.

La evacuación de aguas residuales al mar, —a las aguas costeras—, a los ríos, embalses o estuarios se ha efectuado siempre. Para determinar los efectos de un vertido de efluentes en una masa de agua se emplean modelos físico-matemáticos. La eliminación de un vertido de aguas contaminadas, por dilución en un medio receptor, se calcula con diferentes modelos, procesando siempre la información en ordenadores, ya que el número de parámetros que hay que manejar es muy grande. En todos los casos es preciso disponer de datos reales de las características y condiciones de las aguas receptoras de estos vertidos en la fase preoperacional, bien definidos y con mediciones suficientes.

Se dispone de programas de cálculo y datos bien tabulados para calcular el efecto y resultados de la eliminación de efluentes residuales por dilución, ya se trate de vertidos a ríos o lagos, vertidos en estuarios o vertidos en el mar a través de emisarios submarinos. Estos modelos se utilizan también como paso previo al diseño de las instalaciones de depuración y para controlar y vigilar los niveles de contaminación en el agua.

Las fórmulas matemáticas son representativas de fenómenos físicos y el objetivo fundamental es predecir las interacciones entre los efluentes y el medio receptor —aguas continentales o aguas costeras—, con el fin de prevenir los deterioros o efectos no admisibles.

La interacción se representa por medio de la concentración y distribución de los contaminantes o de algún índice representativo de la contaminación. Los valores resultantes se comparan luego con los estándares o criterios de calidad del agua previamente establecidos. Esta comparación es la que permite decidir si se necesitan medidas correctivas o no.

Los sistemas de aguas naturales (el mar, las aguas costeras, estuarios, ríos, lagos), están constituidos por un conjunto de subsistemas que se relacionan entre sí de forma compleja. Por una parte, hay una serie de factores naturales que afectan al sistema, como las lluvias, radiación solar, vientos, escorrentías, biota, etc., y por otro lado, hay una serie de acciones del hombre, que inciden en el sistema afectando a las funciones de muchos de sus componentes y en definitiva, a la calidad de las aguas, como son las variaciones de flujo de las corrientes, el aporte de nutrientes (fósforo y nitrógeno), introducción de contaminantes, variación de las características físicas y biológicas del sistema y otras. El sistema responde a estas acciones y se produce una distribución de las cargas contaminantes que dan lugar a determinadas concentraciones y alteraciones que pueden afectar a la calidad y usos del agua.

Como estas interacciones del sistema y de los aportes son complejas,

es difícil establecer el comportamiento del mismo en función del tiempo y del espacio. Esto es lo que hace necesario el empleo de las metodologías de predicción, con modelos físico-matemáticos.

Los modelos de dilución son, pues, una representación —más simple o más compleja— de la forma en que se comporta un sistema acuático real. Son instrumentos que permiten reflejar el funcionamiento de un sistema real para emplearlos como herramientas de análisis para conocer los cambios que se producen en el medio.

Hay una serie de modelos físicos, matemáticos, hidrodinámicos. Es conveniente utilizar modelos físico-matemáticos lo más ajustados posible en cada caso, según las características del medio.

Hay modelos de mezcla, basados en el balance de materiales; modelos que calculan la dilución de una pluma térmica o de otro parámetro; modelos que evalúan la capacidad asimilativa de una carga contaminante por un curso de agua; modelos para pronosticar la contaminación del mar; modelos de cálculo de dispersión de líquidos residuales en el mar; modelos para optimización del diseño de los sistemas de depuración en función de la calidad exigida al medio receptor y otros muchos, que no se describen porque harían este libro interminable.

Como orientación, se describen someramente las fórmulas básicas de los modelos que se emplean en el vertido en ríos y en estuarios.

#### *Vertido en ríos. Modelo de dilución*

El vertido de aguas residuales más frecuente se efectúa en las aguas costeras, a través de emisarios submarinos, o en los ríos. En este último caso los modelos de dilución generalmente utilizados se apoyan en la ecuación de STREETER y PHELPS, que define el poder autodepurador del río, a través del cálculo del déficit de oxígeno que ocasiona el vertido efectuado. Se determina la variación de oxígeno existente en el tramo del río afectado.

Las fuentes de reposición de oxígeno en un río son la reaireación atmosférica y el generado en la fotosíntesis de algas y plantas acuáticas, además del oxígeno que llevan disuelto los efluentes, el drenaje superficial y los aportes de aguas freáticas. La reaireación es proporcional al déficit de oxígeno disuelto y el oxígeno producido en la fotosíntesis es función, naturalmente, de la presencia de algas y de la radiación solar que incide sobre ellas.

La radiación solar incidente es mayor a mediodía que al amanecer y atardecer; por tanto, la tasa de fotosíntesis se supone que es sinusoidal.

Por otro lado, la respiración se supone constante, ya que no depende de la radiación solar. Cuando la población de algas sea grande, tendrá lugar una variación diurna en la concentración de oxígeno disuelto, como se muestra en la FIGURA 23.

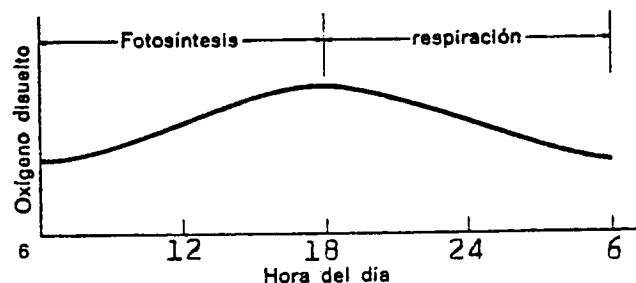


FIGURA 23.—Variación diurna del contenido de oxígeno disuelto en un agua que contiene una población de algas importante.

La constante de reaereación  $K_2$  se define en la ecuación:

$$-\frac{dD}{dt} = K_2 D$$

donde  $D$  = déficit de oxígeno

$t$  = tiempo

$K_2$  = constante de reaereación

Los valores de  $K_2$  para distintas masas de agua, se indican en la TABLA XVIII.

Las condiciones físicas se simplifican según los casos. Se suele suponer que la carga contaminante se distribuye uniformemente en la sección transversal del río. Aunque esto no es real en el punto de vertido, conforme se diluyen los residuos aguas abajo, es válida esta suposición. También se considera

TABLA XVIII  
Constantes de reaereación

Masa de agua	Intervalo de $K_2$ a 20 °C (base 10)*
Pequeñas charcas y aguas estancadas	0,05-0,10
Corrientes de lento discurrir y grandes lagos	0,10-0,15
Corrientes grandes de poca velocidad	0,15-0,20
Corrientes grandes de velocidad normal	0,20-0,30
Corrientes rápidas	0,30-0,50
Rápidos y cascadas	>0,50

\* Para valores en base e, multiplíquese por 2,3.

que no hay mezclas a lo largo del eje del río, lo que es bastante cierto en los casos en que el régimen del río no sea muy turbulento.

El modelo físico se fundamenta en considerar un flujo de pistón, con un incremento de volumen, y se establece un balance de materiales, suponiendo una tasa de descomposición del residuo objeto de evaluación. Se consideran los efluentes de un sólo foco. El balance que se estudia es el siguiente:

$$\text{Variación del contenido del río} = \text{flujo entrante} - \text{flujo saliente} + \text{fuentes} - \text{sumideros}$$

$$V\Delta C = QC\Delta t - Q\left(C + \frac{\partial C}{\partial x}\Delta x\right)\Delta t + 0 - VK\bar{C}\Delta t$$

$$V\frac{\Delta C}{\Delta t} = -Q\frac{\partial C}{\partial x}\Delta x - KVC$$

Si  $V$  igual a  $A\Delta x$ , donde  $A$  es el área de la sección transversal de la corriente tendremos que:

$$\frac{\Delta C}{\Delta t} = -\frac{Q}{A} \frac{\partial C}{\partial x} - K \bar{C}$$

Si  $\Delta x$  y  $\Delta t$  tienden a cero y  $Q/A$  se hace igual a  $v$ , velocidad de la corriente, entonces  $\bar{C}$  tiende a  $C$  y

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial x} - KC$$

En condiciones de equilibrio estable  $\partial C/\partial t$  es igual a cero en cualquier punto. Por tanto:

$$v \frac{dC}{dx} = -KC$$

Mediante la separación de las variables, la integración de esta ecuación da:

$$C = C_0 e^{-K(x/v)}$$

Esta ecuación se aplica a vertidos de contaminantes desde un sólo foco, instantáneos y continuos, cuando  $x = 0$ .  $C_0$  es la concentración del residuo en la mezcla del río y las aguas residuales y viene expresada en la siguiente ecuación:

$$C_0 = \frac{Q_r C_r + q_p C_p}{Q_r + q_p} = \frac{W}{Q}$$

Los mismos conceptos se aplican para determinar la distribución de oxígeno disuelto aguas abajo de un punto de vertido de DBO. El contenido de oxígeno disuelto será función de los siguientes factores:

$K_2 (C_s - C)$  = reaireación.

$P$  = fotosíntesis.

$K(DBO_t)$  = DBO.

$R$  = respiración de las algas.

$S$  = depósito de fangos.

Efectuando el balance material con  $C$  como concentración de oxígeno disuelto, se deduce la siguiente ecuación después de dividir por  $V\Delta t$  y dejar que  $\Delta x$  y  $\Delta t$  tiendan a cero en el límite.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial x} + K_2 (C_s - C) + P - K(DBO_t) - R - S \quad (a)$$

donde  $C_s$  = concentración de saturación del oxígeno disuelto.

$v$  = velocidad de flujo.

$x$  = distancia.

En estado de equilibrio estable,  $\partial C/\partial t$  es igual a cero, y puesto que  $C_s - C$  es igual al déficit de oxígeno disuelto  $D$ , la ecuación (a) puede integrarse para hallar  $D$ , utilizando:

$$DBO_{tx} = DBO_t e^{-K'(x/v)}$$

donde  $DBO_{tx}$  =  $DBO_t$  a una distancia  $x$ .

$DBO_t$  = DBO final a  $x = 0$ .

$K'$  = constante de la DBO (base e).

La forma integrada de la ecuación (a) viene dada por la ecuación

$$D = \frac{K' DBO_t}{K'_2 - K'} (e^{-K'(x/v)} - e^{-K'_2(x/v)}) + D_0 e^{-K'_2(x/v)} + \frac{S + R - P}{K'_2} (1 - e^{-K'_2(x/v)}) \quad (b)$$

donde  $K'_2$  = constante de reaireación (base e).

$D_0$  = déficit inicial de oxígeno.

El empleo de esta fórmula requiere la evaluación de muchos parámetros, especialmente  $S$ ,  $R$  y  $P$ . La magnitud de los efectos de las algas y de los depósitos de fango en la distribución del oxígeno de un río pueden solamente determinarse mediante un detallado análisis y ensayo del río en cuestión. Si sus efectos no fueran significantes, el último término de la ecuación (b) desaparece, quedando entonces de la siguiente forma:

$$D = \frac{K' \text{DBO}_L}{K'_2 - K'} (e^{-K'(x/v)} - e^{-K'_2(x/v)}) + D_0 e^{-K'_2(x/v)} \quad (c)$$

que es la ecuación clásica de la ecuación de STREETER-PHELPS, muy utilizada para calcular la dilución de contaminantes en los cursos de agua de los ríos.

La FIGURA 24 reproduce la curva de disminución de oxígeno disuelto en un río, según la ecuación de STREETER-PHELPS. Como puede apreciarse la biodegradación del residuo comienza inmediatamente después del vertido. Puesto que la reaeración atmosférica es proporcional al déficit de oxígeno disuelto, su tasa aumentará a medida que el déficit sea mayor. Por último, se alcanza un punto en el cual la tasa de oxígeno utilizado para la descomposición del residuo iguala a la tasa de reaeración atmosférica, punto  $x_c$  en la FIGURA 24. Aguas abajo de este punto, la tasa de reaeración es mayor que la de utilización y el oxígeno disuelto comienza a aumentar. Al cabo del tiempo, la corriente no mostrará efecto alguno por causa de los vertidos. Este fenómeno es conocido como el de purificación natural de las corrientes o autodepuración.

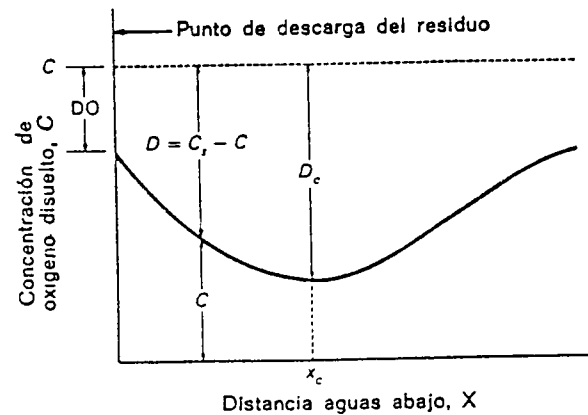


FIGURA 24.—Curva característica de la concentración de oxígeno disuelto en un río, según la ecuación de Streeter-Phelps.

El déficit crítico de oxígeno disuelto  $D$  en el punto  $x_c$  es importante desde el punto de vista técnico. El déficit crítico puede determinarse porque la tasa de utilización de oxígeno es igual a la de reaeración en dicho punto.

$$D_c = \frac{K'}{K'_2} \text{DBO}_L e^{-K'(x_c/v)}$$

El valor de  $x_c$  puede determinarse diferenciando la ecuación (c) con respecto a  $x$  y haciendo que  $dD/dx$  sea igual a cero

$$x_c = \frac{v}{K'_2 - K'} \ln \frac{K'_2}{K'} - 1 - \left[ \frac{D_0(K'_2 - K')}{K' \text{DBO}_L} \right]$$

y

$$t_c = \frac{x_c}{v}$$

donde  $t_c$  es igual al tiempo requerido para alcanzar el punto crítico.

#### Vertido en estuarios

Los estuarios son las zonas en que los ríos desembocan en el mar. Son zonas de un valor biológico excepcional y de gran importancia socioeconómica, porque generalmente en su entorno se han situado grandes núcleos urbanos e industriales.

El análisis de los estuarios es, por lo general, más complicado que el de ríos o lagos. El flujo y reflujo de las mareas puede causar un importante mezclado lateral en los tramos finales de los ríos, próximos al estuario. Evidentemente, la marea entrante cambia de sentido la dirección del flujo en la sección del río cercana al mar. Por lo general, las aguas de los estuarios están estratificadas verticalmente. El agua salada es más pesada que la dulce; por tanto, es frecuente encontrar un sistema dispuesto en capas en donde el agua dulce discurre por encima de la del mar.

En muchos estuarios la acción de las mareas aumenta el mezclado y la dispersión de los residuos. Para calcular la dilución se emplean muchos modelos. Uno de los más utilizados es el que parte de la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -EA \frac{\partial C}{\partial x}$$

donde  $\partial M / \partial t$  = flujo de masa

$\partial C / \partial x$  = gradiente de concentración

$A$  = área de la sección transversal

$E$  = coeficiente de mezclado turbulento

Siempre que exista un gradiente de concentración  $\partial C / \partial t$ , tiene lugar un flujo de masa  $\partial M / \partial t$  de modo tal que tienda a reducir el gradiente de concentración. Se supone que el caudal es proporcional al gradiente de concentración y al área de la sección transversal sobre la que actúa dicho gradiente. La constante de proporcionalidad es  $E$ , conocida corrientemente como el coeficiente de difusión o mezclado turbulento.

Para la descarga instantánea, en el punto  $x = 0$  y  $t = 0$ , se aplica la siguiente ecuación:

$$C = C_0 e^{-(x')^2 / 4Et} - kk$$

donde

$$C_0 = \frac{M}{2A\sqrt{\pi Et}} \quad (a)$$

$M$  = masa descargada en  $t = 0$

$x' = x - vt$

Para la descarga continua de residuos a caudal  $W$ ,

$$C = C_0 e^{jz}$$

donde

$$C_0 = \frac{W}{Q\sqrt{1 + 4KE/v^2}} \quad (b)$$

$$j = \frac{v}{2E} \left[ 1 \pm \sqrt{1 + \frac{4KE}{v^2}} \right]$$

La raíz positiva para  $j$  se refiere a la dirección ( $-x$ ) aguas arriba y la raíz negativa indica la de aguas abajo ( $+x$ ).

El coeficiente de difusión turbulenta se utiliza para medir el mezclado de los residuos. Se han estudiado diversos medios para determinar la magnitud del coeficiente de difusión turbulenta; entre ellos, fórmulas matemáticas y medidas «in situ», utilizando trazadores, como colorantes, sal y otros.

### Vertido en el mar

En el campo de la contaminación del mar causada por aguas residuales los modelos matemáticos más importantes son los hidrodinámicos, los de calidad de las aguas y los termales. Los modelos hidrodinámicos permiten predecir los valores de parámetros como la velocidad y el nivel de las mareas, es decir, la circulación. Los de calidad de las aguas permiten pronosticar el transporte de la materia y otros indicadores de calidad de las aguas. En este tipo de modelos se incluyen también aquellas metodologías que permiten determinar la configuración, el tamaño y la ubicación más convenientes de un emisario de vertido, puesto que generalmente la evacuación de las aguas costeras se efectúa mediante emisarios submarinos.

### Modelos hidrodinámicos

Los modelos hidrodinámicos se basan en las ecuaciones de la conservación del impulso y de la masa. Además de estas ecuaciones se tienen en cuenta las condiciones de frontera, que dependen del sistema y de los fenómenos que se desean simular. Con la excepción de casos muy sencillos, estas ecuaciones deben resolverse empleando métodos numéricos de integración que requieren el uso de ordenadores y programas de cálculo bastante complejos por los datos precisos y el volumen de información que se maneja. Los modelos hidrodinámicos proporcionan las velocidades que es preciso introducir como datos en los modelos de calidad de las aguas.

Las ecuaciones fundamentales en que se apoyan estos modelos son la ecuación de la conservación del impulso o del movimiento, que se basa a su vez en la segunda ley de Newton, que dice que el producto de la masa y la aceleración de una partícula del fluido es igual a la suma de las fuerzas externas que actúan sobre ella. Si dividimos todo entre la masa, la relación resultante nos dice que la aceleración es igual a la suma de las fuerzas por unidad de masa (llamadas fuerzas específicas). Las fuerzas específicas principales que se encuentran en las aguas costeras son el gradiente de la presión ( $P$ ), la fuerza de la gravedad ( $G$ ), la fuerza de la fricción ( $F$ ) y la fuerza de Coriolis ( $C$ ). Con estas fuerzas externas podemos desarrollar la ecuación de la conservación del impulso.

El segundo principio fundamental que se emplea en los modelos hidrodinámicos de las aguas costeras es la ley de la conservación de la masa. Este principio, cuando se expresa en términos matemáticos, es conocido con el nombre de la ecuación de la continuidad. Esta representa un balan-

ce material del fluido que entra y que sale de un elemento de volumen diferencial fijo en el espacio.

Por tanto, un modelo hidrodinámico de un sistema de aguas costeras está constituido por las ecuaciones del impulso y la ecuación de la continuidad.

Para resolver estas ecuaciones se necesitan condiciones de frontera y condiciones iniciales. Ciertas condiciones especifican la presión y otras, la velocidad en las fronteras. Las primeras se conocen con el nombre de condiciones dinámicas (por ejemplo, la presión en la superficie del mar es la presión atmosférica). Las segundas se conocen con el nombre de condición cinemática (por ejemplo, la velocidad normal en el fondo del océano es cero).

Por lo general, es imposible obtener soluciones exactas a las ecuaciones del impulso y de la continuidad. Por tanto, la mayoría de los modelos de uso práctico requieren el empleo de los métodos numéricos de integración con la ayuda de ordenadores.

Para llevar a cabo una solución numérica a las ecuaciones hidrodinámicas se sobrepone una especie de cuadrícula sobre el sistema acuático (estuario, lago). En cada uno de los elementos de la cuadrícula se computan los parámetros físicos y las ecuaciones se escriben en forma de diferencias finitas.

Una de las aplicaciones más útiles de los modelos hidrodinámicos es su empleo para la simulación de las mareas.

#### *Modelo de la calidad de las aguas costeras.*

El proceso de controlar y vigilar la calidad de las aguas de una región costera, tiene como objetivo fundamental conocer el lugar idóneo para la implantación de los emisarios submarinos y saber si es preciso un tratamiento previo al vertido de las aguas residuales. En caso afirmativo, permite determinar los sistemas de depuración convenientes.

Se evalúan los efectos de las distintas alternativas en la calidad de las aguas receptoras de los efluentes líquidos.

Estos modelos se basan también en las ecuaciones del impulso y de la continuidad. La concentración de las sustancias, que pueden ser degradables o persistentes, se expresa en función del tiempo ( $t$ ) y del espacio ( $x, y, z$ ).

#### *Vertidos a través de emisarios submarinos*

Los emisarios submarinos son unas conducciones que transportan los efluentes líquidos a cierta distancia de la orilla y que disponen al final de

una sección dotada con difusores, con el fin de diluir mejor los residuos con el agua del mar.

En el extremo de un emisario se descarga el agua residual tratada o sin tratar, directamente o bien a través de un difusor constituido por una tubería con múltiples aberturas. El flujo de agua residual se mezcla en este punto con el agua de mar circundante y la mezcla sube a la superficie y se desplaza según las corrientes marinas. A este desplazamiento motivado por las corrientes se le llama advección. Al propio tiempo, el campo se difunde hacia el exterior en el agua que le rodea. De aquí que el coeficiente de difusión turbulenta sea importante. Si el mar está lo suficientemente estratificado en el punto de descarga, puede ser posible mantener la mancha contaminante sumergida.

En el caso del vertido al mar la reducción de oxígeno disuelto no tiene tanta importancia; los aspectos significativos son los de la contaminación bacteriana, materia flotante, sustancias tóxicas y persistentes —como los metales pesados—, elementos nutritivos —en el caso del mar, especialmente el nitrógeno—, compuestos organoclorados, etc.

Los fenómenos que requieren atención en el diseño de emisarios submarinos son: la dilución inicial del residuo, su dispersión en las aguas circundantes y su régimen de descomposición.

La evaluación de la evacuación de aguas residuales al mar a través de emisarios submarinos requiere la consideración de un elevado número de factores, de los que los más significativos son:

- Definición de los usos de las aguas.
- Definición de criterios para el control y vigilancia de la calidad de las aguas.
- Captura de datos oceanográficos y topográficos de la región en consideración
- Estudios de dispersión y dilución del efluente, mediante el empleo de modelos matemáticos.
- Selección de emplazamiento.
- Cálculo del largo del emisario con diferentes configuraciones de secciones difusoras.
- Diseño hidráulico del emisario y los difusores.
- Métodos de construcción y materiales.

## — Análisis económico.

En los cálculos preliminares de diseño de emisarios submarinos es preciso determinar los niveles de contaminación. Para ello, se utilizan modelos físico-matemáticos y se opera en tres fases, correspondientes a los siguientes factores:

- Dilución inicial.
- Dispersión del efluente.
- Descomposición natural del contaminante.

## a) Dilución inicial

Cuando el efluente sale del difusor e ingresa en aguas de mayor densidad, se produce una dilución del efluente por mezclado. La diferencia de velocidad entre el borde del chorro y las aguas receptoras dan origen a la turbulencia y al mezclado, mientras que el chorro sube a la superficie. La dilución inicial  $D_i$  puede calcularse usando las FIGURAS 25 ó 26.

Cuando el chorro es expuesto a corrientes de velocidades moderadas, la dilución inicial puede estimarse empleando la relación

$$D_i = \frac{V_x \cdot b \cdot h}{Q} \quad (a)$$

donde:

$V_x$  = velocidad de la corriente

$b$  = ancho efectivo de la sección difusora

$h$  = profundidad media del campo del efluente.

$Q$  = flujo volumétrico del efluente. La ecuación (a) es simplemente una relación de continuidad entre el flujo del efluente y el flujo de la corriente sobre la sección difusora.

## b) Dispersión

Una vez que el efluente es diluido inicialmente, se forma una mezcla más o menos homogénea cerca del punto de descarga, según se muestra

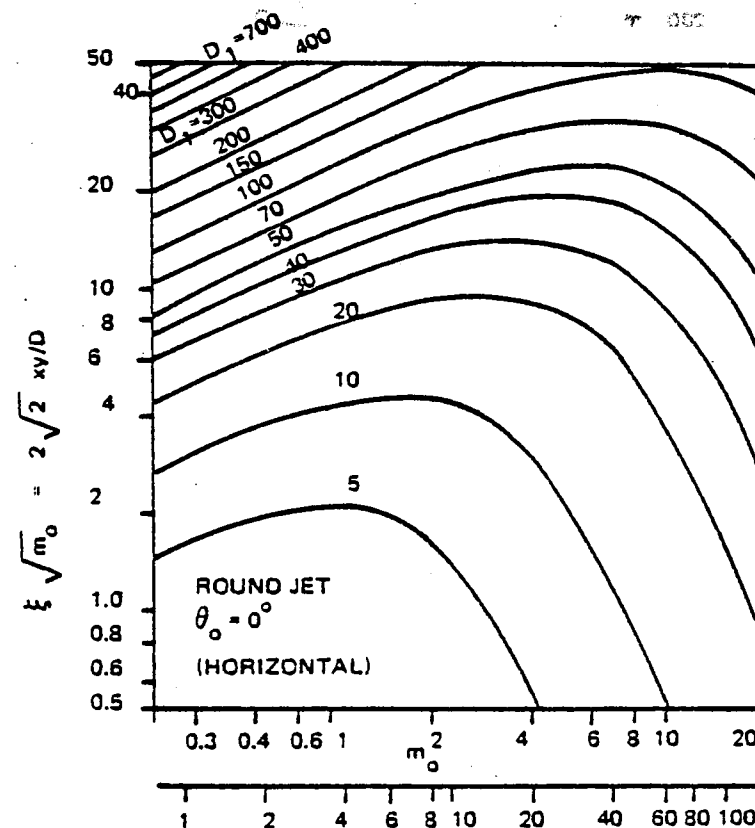


FIGURA 25.—Dilución inicial,  $D_i$ . En el centro del chorro, en función de  $F$  y  $Y_0/D$ . Para un orificio redondo. El chorro sale horizontalmente. La densidad de las aguas receptoras es uniforme.

en la FIGURA 27. Después de un cierto tiempo de esta mezcla del efluente con el agua, el campo del efluente empieza a alejarse del punto de descarga bajo la acción de las corrientes predominantes. Conforme se aleja el efluente se espacia también en forma triangular. El análisis de la etapa de la dispersión se puede llevar a cabo empleando diferentes métodos como los de BROOKS o de HERREMOES. El más utilizado es el de BROOKS.

La dilución por dispersión,  $D_s$ , puede estimarse empleando la FIGURA 28 la cual corresponde al análisis de BROOKS. Esta se emplea en el proceso de diseño del emisario de la siguiente manera:

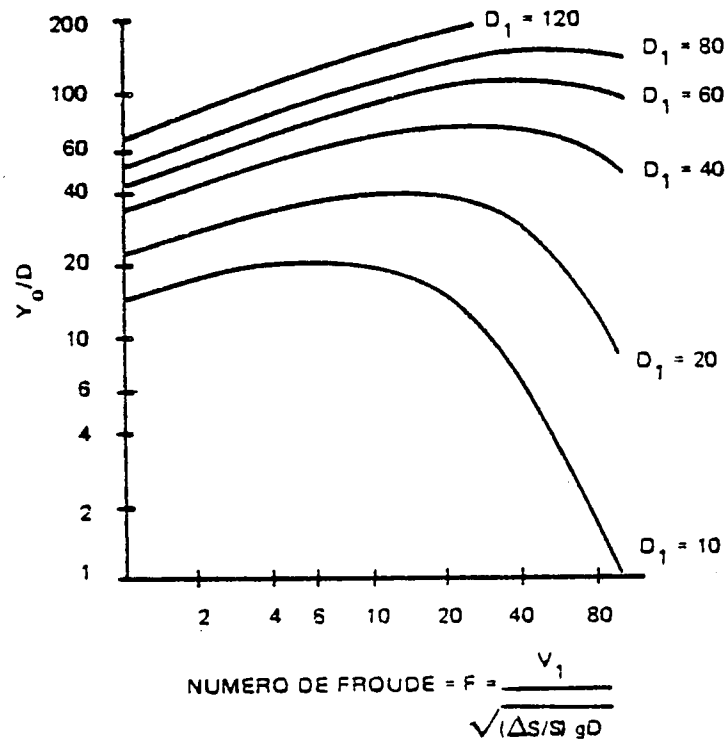


FIGURA 26.—Dilución inicial por mezclado turbulento.

$$D_2 = \frac{C_0}{C_t} = \frac{1}{\text{erf}\left(\sqrt{\frac{3/2}{[1 + 2/3 \beta x/b]^3 - 1}}\right)} \quad (b)$$

donde:

$C_t$  = concentración máxima del contaminante en el instante  $t$ .

$C_0$  = concentración del contaminante inmediatamente después de la dilución inicial.

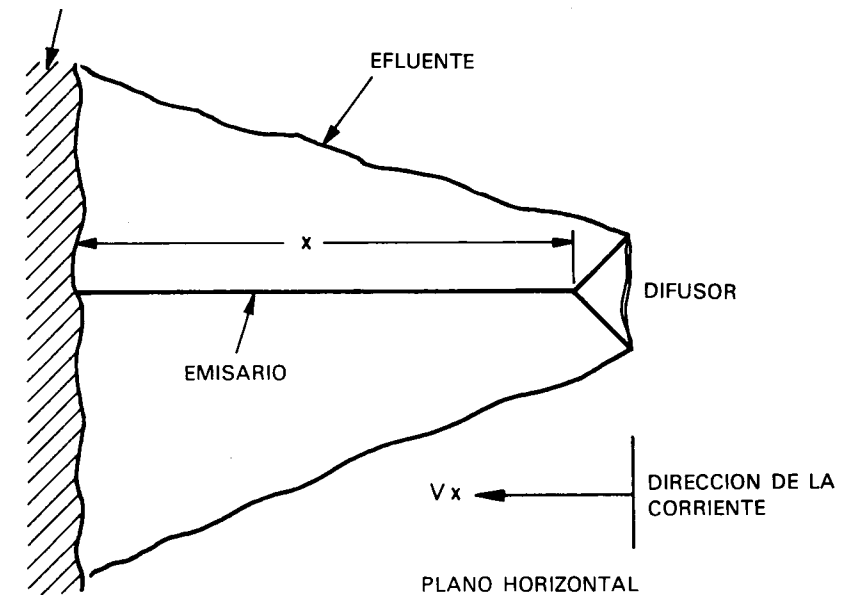


FIGURA 27.—Esquema del campo del efluente en presencia de una corriente.

$\text{erf}(X)$  = función de error ( $X$ ).

$V_x$  = velocidad de la corriente, m/minuto.

$x$  = distancia a lo largo del centro del campo, en metros.

$b$  = ancho efectivo de la sección difusora, metros.

La solución de la ecuación (b) se presenta en forma gráfica en la FIGURA 28. Esta se emplea en el proceso de diseño.

### c) Descomposición del contaminante

Otro factor que influye en la reducción de la concentración del contaminante es la descomposición natural. Por ejemplo, la descomposición bacteriana, mortalidad aparente, que resulta cuando se descarga el efluente

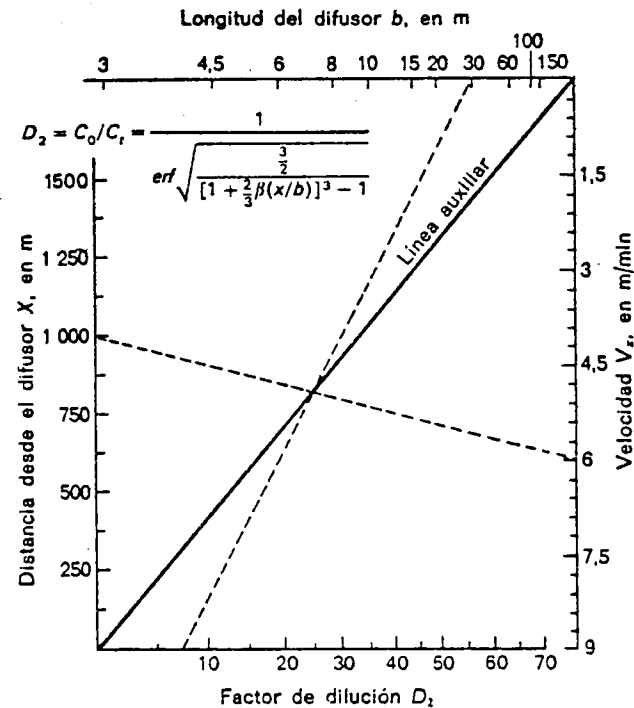


FIGURA 28.—Nomograma para la resolución de la ecuación (b).

en el océano, se debe a una serie de factores. De éstos, los principales son: la mortalidad, la floculación y la sedimentación. La descomposición bacteriana por cualquier causa, excepto por dispersión, puede expresarse mediante la ecuación:

$$C_t = C_0 X^{-kt} \quad (c)$$

donde:

$C_t$  = concentración bacteriana en el instante  $t$  no/ml.

$C_0$  = concentración bacteriana después de la dilución inicial no/ml.

$k$  = constante de descomposición bacteriana,  $\text{seg}^{-1}$

$t$  = tiempo,  $x/V_x$ , seg.

Se han llevado a cabo estudios para establecer valores adecuados para la constante de descomposición,  $k$ , en la ecuación (c) para bacterias en agua salada. Los resultados de estos estudios indican que, generalmente, se obtiene una reducción del 90 por 100 en la concentración bacteriana inicial. Esto ocurre entre dos y seis horas después de la dilución inicial. La variación del tiempo depende de tales factores como la temperatura y la salinidad de las aguas receptoras.

Si en la ecuación (c) reemplazamos la constante  $k$  por su equivalente en términos del  $T_{90}$  (el tiempo necesario para reducir la concentración bacteriana en un 90 por 100), el factor de dilución que resulta de la descomposición bacteriana puede expresarse en la forma:

$$D_3 = \frac{C_0}{C_t} = \exp \left[ \frac{2.3X}{T_{90}^{(3600)} V_x} \right] \quad (d)$$

La FIGURA 29 es una representación gráfica de la ecuación (d) para ser empleada en el proceso de diseño.

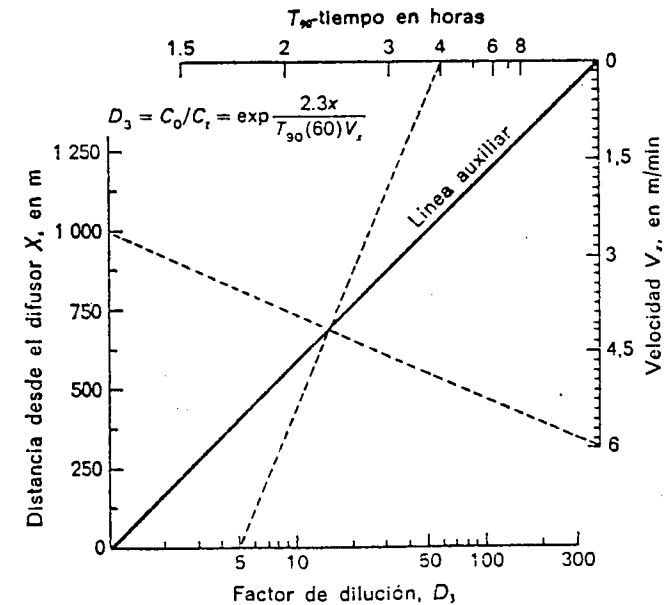


FIGURA 29.—Nomograma para la resolución de la ecuación (d).

En España el vertido al mar desde tierra de las aguas residuales, a través de emisarios submarinos está regulado en la Orden de 29 de abril de 1977 (Boletín Oficial del Estado del 25 de junio), del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, que incluye unas instrucciones técnicas para el cálculo, proyecto y construcción de los emisarios.

Con respecto al proyecto del emisario da una serie de normas e incluye unas fórmulas para el cálculo de la dilución inicial, dispersión y descomposición, que son las siguientes:

#### 1. Procesos de dilución, dispersión y descomposición.

##### — Dilución inicial.

La dilución inicial que se produce en la parte superior central del penacho se hallará aplicando la fórmula (Cederwall).

$$D_1 = 0,54 F (0,38 \frac{Y}{d \cdot F} + 0,68)^{5/3}$$

donde

$$F = \text{número de Froude} = \frac{u}{\sqrt{0,27 \cdot d}}$$

u = velocidad del efluente en los difusores en m/s.

d = diámetro del difusor en m.

Y = profundidad del vertido en m.

Esta dilución inicial deberá alcanzar un valor no inferior a 150, al que corresponden los siguientes pares de valores:

F	5	10	15	20	25	30
Y/d	138	175	200	220	234	246

que sirven para efectuar un tanteo inicial.

##### — Dilución por dispersión horizontal.

La dilución por dispersión horizontal se produce por alejamiento, res-

pecto del punto de descarga, de la mezcla inicial del efluente con el agua, y se determinará según los dos casos siguientes:

#### a) Descarga puntual solamente para emisarios con tubo único de diámetro inferior a 150 mm.

El valor de la dilución por dispersión horizontal se hallará aplicando la fórmula (Pearson)

$$D_2 = \frac{3,65 \cdot h \sqrt{K \cdot V \cdot X}}{Q}$$

en donde

Q = Caudal total del efluente en m<sup>3</sup>/h.

V = Velocidad de la corriente en m/h.

X = Distancia de recorrido en m.

b = Diámetro superior del penacho, igual a Y/3 en m.

K = Coeficiente de difusión horizontal en el punto de descarga, igual a 1,63 b<sup>4</sup> en m<sup>2</sup>/h.

h = Espesor superior del penacho, igual a  $\frac{Q \cdot D_1}{V \cdot b}$ , en m.

#### b) Descarga lineal.

El valor de la dilución por dispersión horizontal se hallará aplicando la fórmula (Brooks).

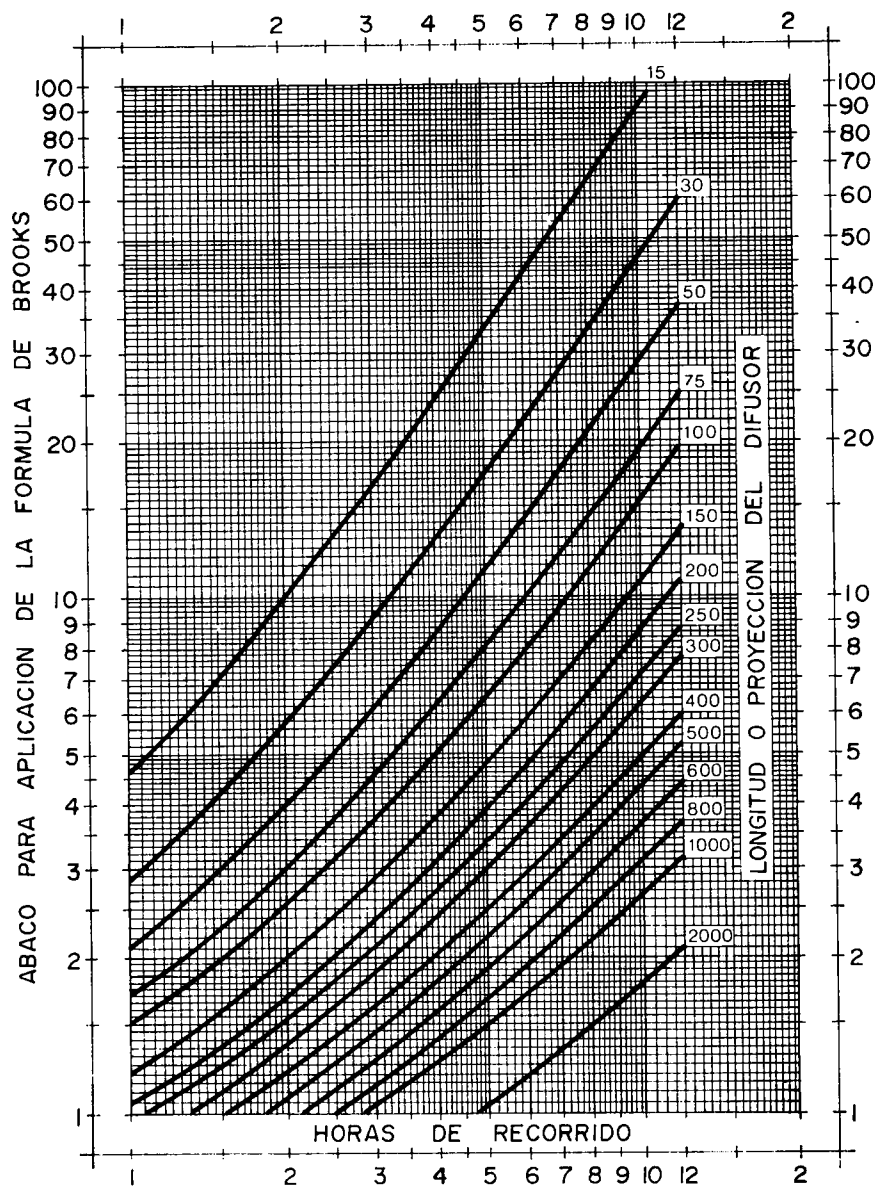
$$D_2 = \sqrt{\frac{(1 + \frac{13t}{b^{2,3}})^3 - 1}{1,5}}$$

en donde

t = tiempo de recorrido en horas, igual a la longitud (X) del recorrido en m, dividida por la velocidad (V) de la corriente en m/h.

b = longitud de difusores proyectada normalmente a la dirección de la corriente, en m.

Dicha fórmula viene representada, para mayor facilidad de aplicación, en el ábaco adjunto.



## PLAN DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS

Una eficaz lucha contra la contaminación y el deterioro del agua requiere tener un conocimiento de cómo están evolucionando los parámetros que definen la calidad de los efluentes; cómo se está comportando el medio receptor; así como los datos que conciernen a la cantidad y régimen de circulación de las aguas. Es preciso, también, establecer los umbrales de alarma que permitan advertir de cualquier alteración que pueda suponer un peligro inmediato o una tendencia de variación tan rápida que conduzca en breve plazo a situaciones indeseables.

La primera cuestión que se plantea al diseñar una red y sistema de control y alarma, es el de la selección de los parámetros a medir. El segundo problema es el de determinar donde deben ser medidos, cuando se muestra y cómo ha de hacerse. En la exposición que sigue se dan algunos criterios básicos, aunque breves, sobre cómo pueden enfocarse estas cuestiones, que necesariamente deben considerarse siempre en un estudio de impacto ambiental.

### Parámetros a medir

No es posible controlar todos los contaminantes que pueden llegar a las aguas y resulta preferible recurrir a la determinación de algunas características fundamentales, bien entendido que en casos de desviaciones apreciables será preciso proceder a un examen más profundo de la cuestión y hacer análisis e investigaciones específicas. Los controles que ahora se definen son los que se estiman como mínimo en programas para una vigilancia permanente y normal.

Para el control de la calidad de los efluentes se estima necesario medir los siguientes parámetros en los análisis normales:

1. Contenido en compuestos orgánicos disueltos (COT, DQO,  $\text{DBO}_5$ ).
2. Contenido en compuestos nitrogenados orgánicos y amoníaco (método del nitrógeno orgánico total de Kjeldahl).
3. Sólidos totales en suspensión (M.E.S.).
4. pH.
5. Letalidad aguda.

Se considera comúnmente que la  $\text{DBO}_5$  es insuficiente por diversas razones, pero tradicionalmente viene siendo aceptada porque el tratamien-

to biológico suele ser la técnica más aceptada universalmente para eliminar los compuestos orgánicos disueltos.

La DBO<sub>5</sub> puede constituir un parámetro y modo de ensayo aceptable para medir directamente la degradación de los residuos del tipo de los que se encuentran en las aguas urbanas, pero es menos adecuada para muchos sectores industriales. Entre los factores que la hacen menos adecuada resaltan: la toxicidad de los efluentes brutos, la necesidad de utilizar una cepa bacteriana aclimatada, la mala reproductibilidad, la imposibilidad de determinar la cantidad de compuestos orgánicos no biodegradables y el plazo de cinco días necesario antes de tener resultados.

La DQO, por el contrario, es rápida y reproducible pero incluye, además del carbono orgánico total, todas las sustancias oxidables por el ácido crómico o por el permanganato potásico. No puede pues establecerse una relación directa entre este parámetro y la cantidad de compuestos orgánicos disueltos en un efluente.

El parámetro más recomendable, en el cuadro de la lucha contra los compuestos orgánicos disueltos en los efluentes de la industria, es el carbono orgánico total (COT). Este ensayo presenta las ventajas siguientes:

- a) Es específico en el carbono presente en los compuestos orgánicos.
- b) Es más sencillo, más rápido y más fiable que los ensayos relativos DBO a la DQO.
- c) Los ahorros en mano de obra compensan el precio más alto del equipo necesario para el ensayo de COT.
- d) El ensayo de COT determina a la vez el contenido en materias orgánicas biodegradables y en sustancias resistentes mientras que la DBO sólo mide la fracción biodegradable.

Pero son precisamente las sustancias no biodegradables y que persisten en el medio ambiente las que causan, por este hecho, los mayores problemas. En cuanto a la DQO incluye ciertamente los compuestos orgánicos resistentes pero engloba asimismo otras sustancias.

La correlación entre el COT y la DBO es muy interesante porque indica el contenido en los residuos de compuestos orgánicos resistentes.

En cuanto al nitrógeno Kjeldahl, que incluye el nitrógeno amoniacal, es un parámetro aconsejable por lo directo y preciso del ensayo, que es necesario especialmente por los efectos altamente tóxicos del amoníaco no ionizado, más presente cuando el pH es alto.

El pH tiene una influencia muy notable en los ciclos biológicos, en la corrosividad de los efluentes y en la toxicidad de muchos elementos que pueden ver la suya potenciada en medio con pH muy separados de siete.

La letalidad aguda, sobre organismos especialmente seleccionados, para lo cual será preciso hacer algunos ensayos y estudios biológicos previos, permite tener un control de seguridad global que incluye los efectos que pudieran resultar de la reacción entre sí de los distintos contaminantes presentes en las aguas residuales y es un ensayo que combina los distintos efectos en una prueba única.

Además de estos ensayos de rutina deberán hacerse otros con menos frecuencia para determinar los parámetros de calidad habituales y los productos normalmente presentes en las aguas residuales de la planta. Estos análisis ordinarios comprenderán, al menos, las siguientes determinaciones:

- Las de los análisis de rutina.
- Sólidos disueltos totales.
- pH a 25° C.
- Conductividad a 25 °C

#### Aniones:

Cloruros  
Sulfuros  
Sulfatos  
Carbonatos  
Bicarbonatos  
Nitritos  
Nitratos  
Fosfatos

#### Otros tóxicos:

Fenoles  
Cianuros  
Organohalogenados

#### Cationes:

Calcio  
Magnesio  
Sodio  
Potasio

#### Metales:

Mercurio  
Cadmio  
Cobre  
Cromo hexavalente

- Sustancias extraíbles al cloroformo.
- Colimetría (*Escherichia coli*).

Los análisis extraordinarios comprenderán además de los análisis ordinarios, los metales pesados y compuestos especiales tóxicos cuya aparición en las aguas residuales se haya detectado a través de análisis especiales al menos en el 80 por 100 de las muestras.

Para el control biológico de las masas receptoras se harán los ensayos y muestreos que permitan controlar el oxígeno disuelto, DBO y DQO, temperatura, salinidad, turbidez, clorofila, productividad, masa biótica y nutrientes, así como los que se refieren a las estructuras y dinámica de las comunidades vivientes.

En cuanto a los aspectos cuantitativos será preciso controlar:

- Caudal y velocidad en los cursos de agua.
- Niveles piezométricos de los acuíferos.
- Flujo en los drenes, si procede.
- Lluvia, evaporación, temperatura y humedad.

### Red y métodos de vigilancia

Para el control de la calidad de los efluentes, será preciso hacer arquetas en cada industria para la toma de muestras en todas las unidades de proceso a la entrada y salida de los sistemas de tratamiento individuales si los hay. Asimismo se tendrán puntos de muestreo en la entrada y salida de las unidades de tratamiento biológico conjunto.

Es recomendable efectuar los análisis de calidad siguiendo métodos normalizados, como los Standard Methods de la AWWA.

Es conveniente también seguir las prácticas y métodos de muestreo, análisis y ordenación de datos que figuran en el texto conjunto de la Organización Mundial de la Salud y de la UNESCO titulado «Water Quality Surveys».

Las redes de vigilancia correspondientes a una zona industrial o una fuerte concentración urbana deben disponer de un sistema de alarma. Las industrias deberán comunicar cualquier accidente del que se tenga conocimiento a los responsables de la vigilancia de las aguas, por si diera lugar a tomar medidas de protección especiales.

Asimismo los encargados de los análisis de rutina en las plantas informarán de cualquier resultado de sus controles que exceda de los límites prefijados al efecto, para que se tomen las medidas pertinentes y en su caso, si procediera, se comunique a los servicios de protección y seguridad.

Los controles de calidad rutinarios deben hacerse diariamente sobre los efluentes finales antes del vertido al río o al mar. Estos efluentes deberán ser objeto de un análisis físico-químico ordinario semanalmente.

También semanalmente se analizarán las muestras a la entrada y salida de cada una de las unidades de tratamiento con análisis a nivel de rutina y mensualmente se harán análisis ordinarios completos de los efluentes de cada industria.

Mensualmente se determinará en el efluente final los metales y tóxicos según lista para análisis extraordinarios previamente establecida.

En el reglamento interior se determinará el tipo de formularios en que habrán de recogerse todos estos datos y se indicará a qué persona deben ser presentados para conocimiento. Asimismo es conveniente establecer un sistema de archivo y de banco de datos que permita la disponibilidad de información para estudios estadísticos de control o científicos.

### Control de la zona marítima del litoral

Si se trata de instalaciones situadas en la zona costera, con vertidos directos al mar, es preciso limitar los efluentes y controlar los niveles de calidad de las aguas receptoras, para preservar los usos del agua por parte del hombre y asegurar la existencia de las comunidades orgánicas.

Este parecería que es el objetivo del control, pero la realidad es que el primordial es comprobar si los usos están siendo preservados y las comunidades son capaces de vivir y prosperar, coincidan o no estos hechos con los standards de calidad fijados previamente, en el proyecto del emisario, a la luz de los datos previos recogidos.

Las normas de emisión se establecen de forma convencional, suponiendo en principio que no afectan a la biota ni limitan sus usos. Pero es demasiado simple investigar sólo la calidad del efluente y no la de las aguas receptoras; lo que ocurre es que la de éstas es mucho más difícil de establecer.

Un programa de control de aguas receptoras comprende:

- Determinación de los parámetros de la columna de agua.
- Estudio de los sedimentos del fondo.
- Examen de organismos locales.
- Consideración de parámetros estéticos y sanitarios.

El control del efluente debe realizarse periódicamente en función de

su caudal y los parámetros dependerán del tipo del efluente y de las normas de emisión que hayan sido fijadas en el proyecto.

Sin embargo hay algunos como:

- DBO,
- sólidos en suspensión,
- coliformes fecales,
- fósforo total,

que están incluidos en todos los controles, además de algunos otros típicos de aguas residuales industriales, como metales pesados y compuestos organoclorados.

El control de calidad de las aguas receptoras también es periódico en función del caudal y puede dividirse en los siguientes:

- Control general de calidad del agua, en que se miden los parámetros indicados y además, la transmisión de luz a través del agua.
- Decoloración y cuerpos flotantes, expresando estos últimos en porcentajes por metro cuadrado de superficie de agua.
- Muestras del fondo, examen de sedimentos y organismos y plancton que en él habitan y su evolución.
- Captura de peces, identificación, medición, peso y examen de deformidades, mutaciones o enfermedades.
- Barrido béntico y examen de toda la biomasa y su estado de salud.

Debido a que muchos animales son prisioneros de su nicho ecológico, su comportamiento y evolución pueden mirarse como indicadores de calidad de las aguas y su tolerancia en el tiempo a la contaminación.

En general, de estos programas de vigilancia de la calidad de las aguas en la zona del litoral, se encarga la Administración, sea local, regional o estatal. Las industrias se ocupan de vigilar los contaminantes y sus concentraciones presentes en el efluente a la salida de la planta.

En caso de ser necesaria la vigilancia más estricta de una parte de las aguas costeras, la red de monitoreo en el mar puede ser la siguiente, cuando haya emisarios submarinos en dicha zona:

### 1. Aguas a menos de 1.500 m. de la descarga de los emisarios

<i>Característica</i>	<i>Calidad exigible</i>	<i>Periodicidad</i>
Coliformes	20 colonias/10 ml el 80 por 100 del tiempo ninguna muestra 100 c/ml.	Semanal
Oxígeno disuelto	6 mg/l	"
Grasas y aceites	2 mg/l 80 por 100 tom.	"
Materias flotantes	Ninguna	"
Control olores	Ninguna	"
Disco Secchi	6 m.	"

### 2. Aguas a menos de 500 m. de la zona de marea más fuerte

<i>Característica</i>	<i>Calidad exigible</i>	<i>Periodicidad</i>
Coliformes	10 col/ml. el 80 por 100 tiempo. Ninguna muestra, con 100 c/ml.	Diariamente
Oxígeno disuelto	90% S.	"
Grasas y aceites	Ausencia	"
Materias flotantes	Ausencia	"
Control olores	Ausencia	"
Disco Secchi	6 metros	"

Independientemente de estos controles rutinarios indicadores de contaminación de tipo orgánico principalmente, se llevarán a cabo una vez al mes, análisis de los metales pesados y compuestos orgánicos relacionados con las sustancias vertidas.

## Impactos sobre el medio terrestre

Todo análisis de impacto ambiental debe estudiar, con mayor o menor extensión y profundidad, los sistemas ecológicos del área en que se ubica el proyecto o acción objeto de estudio.

Todos los ecosistemas pueden subdividirse en un medio físico o biotopo y organismos o biocenosis. El biotopo se divide en atmósfera, sustrato (diferenciado por su parte superior en suelo o fondo lacustre) y disolución del suelo o masa de agua. Las biocenosis se dividen en productores (vegetales), consumidores (generalmente animales) y descomponedores (microorganismos, hongos y muchos grupos, preferentemente invertebrados). En ecosistemas acuáticos son muy numerosos los organismos suspensívoros que, con frecuencia, se corresponden mal con las categorías anteriores.

La circulación de energía se hace siempre en forma cíclica: la radiante, con menor eutrofia, se capta por organismos fotosintéticos en los estratos superiores del ecosistema. Circula hacia niveles inferiores de preferencia en forma de enlace C-H, siendo progresivamente degradada y liberada en forma de calor y  $\text{CO}_2$  con un aumento de entropía.

Las divergencias de este patrón de funcionamiento vienen dadas por el papel regulador de otros ciclos (materia) del sistema: concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Mo, Co, Zn, S, y factores predominantes, dependiendo de su estructuración y relaciones con otros sistemas.

El estudio completo de los sistemas ecológicos es muy difícil porque

los ecosistemas están conectados a varios niveles. Se estudian las relaciones topográficas y las estructurales.

Todo estudio de impacto ambiental debe describir los ecosistemas del área y sus relaciones. Ello requiere desarrollar campañas de prospección, establecer unos métodos de muestreo y una valoración de los resultados obtenidos. Con ello se puede evaluar el estado actual de los diferentes subsistemas, y prever la posible evolución de los impactos ambientales sobre el medio natural.

Hay dos grandes componentes en esta parte del estudio: el medio inerte y la biota. Se han analizado ya las metodologías de trabajo para evaluar los efectos sobre el aire y sobre el agua. Se estudian también la topografía y geomorfología, la geología, la litología y la edafología del área. El estudio de la biota, flora y fauna, es más o menos extenso según el proyecto o actividad de que se trate. El estudio de las biocenosis es la parte más difícil de toda la E.I.A., porque no siempre es posible hacer un estudio detallado de las mismas, por falta de datos, por carecer de sistemas de referencia y por la propia complejidad del sistema ecológico, que le confiere una gran resiliencia y flexibilidad de respuesta, gracias a sus mecanismos de regulación, capacidad de regeneración, sucesión, diversidad y otras características.

Además, algunos de los impactos potenciales son muy sutiles y casi imperceptibles a corto plazo, como es el caso de los efectos que causan las sustancias en baja concentración, como los productos tóxicos, los hidrocarburos, los metales pesados o los organohalogenados.

Actualmente existen instrumentos muy valiosos que permiten trabajar con una visión global y un seguimiento mucho mayor. Por ejemplo, los documentos de teledetección multiplican la capacidad de observación, extendiéndola también hacia atrás y facilitando con los satélites de la serie LANSAT (1, 2 y 3) un estudio sectorial a ciertas longitudes de onda que discriminan la información deseada.

Los sensores automáticos de conductividad, salinidad, oxígeno, temperatura, permiten obtener con rapidez gran cantidad de información de campo que orienta el muestreo de modo inmediato.

La gran potencia de cálculo en los ordenadores ha facilitado el tratamiento de masas importantes de datos con técnicas avanzadas que extraen las tendencias de variación más significativas.

Aun así, son trabajos costosos, que requieren profesionales de la ecología verdaderamente capacitados.

Vamos con qué indicadores se opera.

## INDICADORES BIOLÓGICOS DE CALIDAD EN EL MEDIO TERRESTRE

Los cambios producidos en los ecosistemas terrestres debido a una actividad antropógena pueden ser:

*Directos:* Destrucción de la cubierta vegetal por una acción directa, caza de animales, pesca y pastoreo intensivo, etc.

*Indirectos:* Por ejemplo, la interferencia en las necesidades específicas de una especie animal o vegetal que condiciona el normal desarrollo de su ciclo de vida.

Los elementos estructurales y sistemas funcionales que caracterizan a una biocenosis, son excelentes indicadores del estado del ecosistema en cuestión.

## ESTUDIO DE BIOCENOSIS

Una biocenosis es un tipo de agrupación de seres vivos reunidos por la atracción no recíproca que sobre ellos ejercen los factores ambientales; este tipo de apreciación se caracteriza por una composición específica determinada, por la existencia de fenómenos de interdependencia, y por ocupar un espacio físico denominado biotopo.

Si alguna de las condiciones ambientales se desvía durante algún tiempo de su medio habitual, la biocenosis entera se transforma. Esta transformación ocurre también si el número de individuos de una especie dada aumenta o disminuye por la influencia del hombre, o bien si alguna especie desaparece totalmente, o se introduce de nuevo en la comunidad.

### a) Indicadores estructurales

#### *Composición de especies y abundancia*

En la mayoría de los casos sólo es necesario descender hasta el nivel específico en los organismos más comunes, citando, para las especies raras, el número de especies presentes y los grupos a los que pertenecen.

En cuanto a la densidad de población, puede ser medida como densidad bruta, densidad ecológica o índices de abundancia relativa, dependiendo de la naturaleza del ecosistema en cuestión. La densidad bruta mide el nú-

mero de individuos localizados en un área dada, independientemente de la estructura del área (da lo mismo si es un bosque, lago, pradera, etc.).

Los índices de abundancia relativa son los más utilizados en las evaluaciones de impacto, por el menor tiempo y coste económico que exigen. Hay que tener en cuenta que este índice no da el número total de individuos que habitan en el área en estudio.

La metodología seleccionada para estimar la densidad de población, dependerá del tipo de hábitat y de especies de que se trate. Tampoco hay que olvidar que en ecosistemas que no presentan perturbaciones, existen variaciones naturales en la densidad de población, ya que ésta depende de numerosos factores.

En un análisis de los problemas ambientales, es importante identificar aquellos efectos que dan lugar a cambios cualitativos en el ecosistema.

#### b) Relaciones en la alimentación

En el estudio de los organismos presentes en un ecosistema, es importante comenzar haciendo el mayor número de observaciones posibles sobre las relaciones alimenticias, principalmente de las fuentes de alimento de las distintas especies. Dado que la diversificación de los regímenes alimentarios es el origen de numerosas adaptaciones morfológicas, fisiológicas y ecológicas, el estudio de éstas complementa las observaciones realizadas sobre las relaciones alimenticias.

Los métodos utilizados para determinar los regímenes alimenticios, se basan en la identificación de contenidos estomacales, en técnicas de marcaje con radiosótopos, en reacciones inmunológicas y en análisis de ácidos grasos.

#### c) Dominancia ecológica y especies clave

Un atributo importante de un ecosistema es la relevancia de las especies que lo ocupan; es de gran valor para ver si un determinado impacto da lugar a cambios, tanto cualitativos como cuantitativos, en el patrón de especies dominantes.

Los términos dominancia ecológica y especies clave, se han utilizado indistintamente para señalar la importancia de una especie en el mantenimiento de una determinada estructura, y las funciones que se desarrollan

en el seno de la comunidad de la que forma parte la especie en cuestión. Sin embargo, los dos términos tienen diferentes matices:

- *Dominancia ecológica*, generalmente se refiere a aquellas especies que juegan un papel importante en el flujo de energía del ecosistema; son relativamente abundantes o presentan una productividad alta. WHITTAKER considera que el principal indicador de la dominancia de una especie es, probablemente, su productividad. Para facilitar la labor de hallar la especies dominantes, se han elaborado índices de dominancia. Estos índices son altos cuando unas pocas especies dominan en una comunidad, y bajos cuando existen muchas especies dominantes.
- *Especies clave*, es un concepto muy similar al definido anteriormente. Se uso referido a aquellas especies que influyen fuertemente sobre los demás organismos de la comunidad, y al desaparecer cambian drásticamente las características de la misma.

Generalmente, las especies clave o dominantes, dentro de una comunidad, suelen aparecer en números muy bajos.

#### INDICADORES ECOLOGICOS, ESPECIES INDICADORAS

En muchos casos, para simplificar los estudios de evaluación de impacto ambiental, reducimos el número de especies al estudio de unas pocas, a las que llamamos especies indicadoras de calidad. Estas especies responden a unas exigencias ecológicas muy concretas, permitiendo reconocer determinadas características especiales del medio en el que viven. Por ejemplo, la desaparición de líquenes de los troncos de los árboles, es señal de aumento en la concentración de  $\text{SO}_2$  en el aire. El sobrepastoreo que produce poco a poco la degradación del pastizal, puede ser diagnosticado por la desaparición de determinadas gramíneas y la aparición de plantas nitrófilas. Por lo tanto, conociendo la presencia o ausencia de estas especies, podemos definir el estado del ecosistema en que habitan.

Sin embargo, la utilización de especies indicadoras presenta graves problemas que conviene no olvidar:

- a) Es difícil encontrar una especie o grupo restringido que actúe como verdadero indicador. Muy pocas especies presentan afinidad

por unas condiciones ambientales muy definidas y poco variables, y en el caso de que existan, no suelen ser las más numerosas ni las dominantes dentro del ecosistema.

- b) No son válidas como indicadoras aquellas especies de pequeño tamaño y de gran capacidad de cambio, ya que éstas no suelen ser estables dentro del ecosistema. Es preferible seleccionar especies de mayor tamaño, que generalmente son más estables, su ciclo de vida es más largo y su capacidad de adaptación es menor.
- c) Hay que valorar el tiempo y el esfuerzo necesarios para establecer qué especie o grupo de especies son verdaderos indicadores bajo determinadas condiciones. Para ello, han de hacerse numerosos trabajos experimentales que incluyan comparaciones de las especies en diferentes localidades.

### *Diversidad de especies*

La utilización de la diversidad específica como indicador de las condiciones de un ecosistema o comunidad, es algo que se ha sobrevalorado. En primer lugar, la diversidad específica puede ser influida por gran número de factores. En segundo lugar, que un ecosistema presente gran diversidad no implica necesariamente que esté más «sano», y viceversa. Finalmente, no se pueden hacer comparaciones interespecíficas, ni en diferentes períodos de tiempo. La diversidad debe ser calculada dentro de grupos taxonómicos afines, o por lo menos entre organismos de características tróficas y tamaños parecidos, y en períodos comparables.

De todas maneras, la diversidad de especies es un parámetro más a tener en cuenta al medir el impacto de un factor determinado sobre el ecosistema; asimismo es un indicador importante de las oportunidades de desarrollo que tiene cada ser vivo dentro de un área.

Se han desarrollado varios índices para calcular la diversidad, y entre ellos el más utilizado es el índice H de SHANON-WEAVER, por el que se relacionan el número de especies presentes y la abundancia relativa de cada una.

El índice desarrollado por HILL da unos valores bastante aproximados de la relación existente entre diversidad y abundancia relativa.

Otro método para medir la diversidad es observar la distribución tridimensional de la vegetación. Una ventaja de este método es su simplicidad, ya que el investigador no debe identificar las distintas especies, sino sola-

mente comparar sus volúmenes. La mayor desventaja de este método es que, a pesar de que da un valor de la diversidad física (dosel arbóreo, estrato medio y estrato basal), no califica la diversidad específica.

Aunque no está directamente relacionado con el concepto ecológico de diversidad, en muchos casos la «relación de singularidad» (uniqueness ratio), definida por LEOPOLD, puede ayudar a determinar la presencia de elementos no frecuentes en un área determinada.

Los estudios de análisis de diversidad se pueden hacer a escala regional o local. A escala regional se obtiene una idea general del aspecto del paisaje. Los estudios de áreas locales, comprenden comparaciones cuantitativas entre especies, y comparaciones cualitativas de diversidad espacial.

## INDICADORES FUNCIONALES

### **Productividad**

Una de las características funcionales más importantes de un ecosistema, es la producción media de materia orgánica en los distintos niveles tróficos, llamada productividad del sistema. Depende de la naturaleza cualitativa de los componentes del ecosistema; esto quiere decir, que el grupo de organismos y las condiciones ambientales que existen en un ecosistema determinan un valor característico de productividad del mismo. Por lo tanto, podemos definir la productividad como la expresión cuantitativa de la capacidad física del sistema para mantener organismos vivos. Cualquier factor antropogénico que altere la productividad de un sistema natural, afecta a la capacidad de los organismos para mantener el nivel de biomasa que asegure el equilibrio de la población. Por lo tanto, este parámetro es de sumo interés en la evaluación del impacto producido por una intervención humana.

El análisis de la productividad puede hacerse a distintos niveles, desde la estimación de la productividad global hasta la estimación de la productividad de ciertos componentes de interés particular. En un estudio preliminar es importante medir la productividad de interés potencial.

Dentro de un sistema se pueden definir los siguientes conceptos:

- *Productividad bruta*: Es la cantidad de materia viva producida en la unidad de tiempo.
- *Productividad neta*: Es igual a la productividad bruta menos la fracción de materia viva degradada en los fenómenos respiratorios.

- *Productividad primaria:* Es la que corresponde a los organismos autótrofos fotosintéticos.
- *Productividad secundaria:* Corresponde a los demás niveles (consumidores primarios o secundarios).

#### *Medida de la productividad primaria*

La productividad de áreas cuya vegetación está constituida principalmente por pequeños matorrales y hierbas, se determina cosechando, secando y pesando las plantas de una determinada unidad ambiental repetidas veces, a lo largo de la época de crecimiento. La productividad primaria neta puede expresarse en términos de peso en seco producido por unidad de superficie.

Para las plantas leñosas, este método es impracticable, y normalmente se utiliza el método de conteo de anillos de crecimiento.

La relación entre altura y edad de las especies dominantes también se utiliza como indicador de productividad potencial. Una de las desventajas de este método es que cada especie está caracterizada por una altura media, de manera que las comparaciones entre los índices sólo pueden hacerse en los casos en que las áreas a comparar contengan las mismas especies dominantes.

La productividad neta, es generalmente mayor en las plantas jóvenes que en las maduras, ya que estas últimas necesitan mayor cantidad de energía para mantener su crecimiento. Sin embargo, generalmente, la productividad bruta es mayor en las poblaciones adultas que en las jóvenes, ya que en las primeras al aumento de la biomasa debido al crecimiento, hay que sumar el mantenimiento de la estructura.

Por lo anteriormente expuesto, deducimos que, para evitar comparaciones erróneas de la productividad, es necesario determinar siempre las productividades neta y bruta.

También se utilizan para medir la productividad primaria, técnicas basadas en el intercambio gaseoso. Puesto que existe una relación constante entre el  $O_2$  desprendido, el  $CO_2$  absorbido y la materia orgánica sintetizada por la fotosíntesis, se puede evaluar la productividad midiendo cualquiera de estos intercambios de gases.

Otro método utilizado normalmente es el marcaje con radioisótopos. Es el más exacto, puesto que no perturba el funcionamiento del ecosistema. Se basa en el seguimiento del elemento radiactivo añadido al medio.

#### *Medida de la productividad secundaria*

Los estudios de la productividad secundaria pueden hacerse a nivel individual, poblacional o de ecosistema, pero en cualquiera de los casos es necesario conocer, como punto de partida, el balance energético de cada especie, es decir lo que consume, respira y excreta, ya que la producción es el balance neto entre el consumo, los usos metabólicos y la excreción. De manera alternativa, y más directamente, es posible medir el crecimiento y reproducción de los animales en cuestión, ya que la producción es debida a ambos procesos.

### ESTRUCTURA TROFICA Y FLUJO DE ENERGIA

El funcionamiento general de un ecosistema es muy complejo, por lo que su estudio exige el conocimiento de las relaciones existentes entre los componentes fundamentales y la evaluación de sus necesidades energéticas. La existencia de unos niveles tróficos, esto es, de grupos de individuos con necesidad y funciones alimenticias similares, permite conocer el flujo energético, tanto del sistema, como de cualquiera de sus partes aisladamente.

El análisis funcional, en términos energéticos, presenta una serie de ventajas:

- Permite comparar ecosistemas muy diferentes, ya que el número y peso de los organismos puede ser expresado en unidades de energía.
- La importancia biológica de los distintos componentes dentro del funcionamiento general del sistema, puede determinarse estimando el flujo de energía a través de dichos componentes.

En general, se puede decir que, aquellas especies que controlan la mayor parte del flujo de energía, determinan la función y el carácter cualitativo de una comunidad.

El estudio del flujo de energía comienza con la identificación de las cadenas y redes alimenticias más importantes. A partir de estos estudios, se forman grupos tróficos, y se dibujan los diagramas de las redes alimenticias. A continuación, se calcula el flujo de energía en cada nivel o componente. El flujo de energía (asimilación total), en un nivel trófico, viene determinado por la producción, respiración, y eliminación que haya tenido lugar en dicho nivel.

### Nutrientes

El funcionamiento y productividad de un ecosistema depende del tipo y cantidad de nutrientes disponibles. Este hecho es fácilmente comprobable al ver el aumento espectacular de la productividad de un ecosistema, cuando se añade un nutriente limitante. La concentración y circulación de nutrientes puede cambiar, como respuesta a diferentes actividades humanas. Por este motivo, su estudio es de gran interés.

El ciclo de los nutrientes es similar al del flujo de la energía. En sentido amplio, el flujo de energía es un sistema abierto (con input de energía radiante y output en forma de disipación de calor), mientras que el ciclo de nutrientes es esencialmente un ciclo cerrado (excepto cuando son posibles inputs y outputs a ecosistemas adyacentes).

Los nutrientes de la naturaleza se encuentran en reservorios. Por ejemplo, un reservorio de nitrógeno sería la cantidad de este elemento que podemos encontrar en el zooplankton de un lago. Los nutrientes son transferidos de reservorio en reservorio siguiendo distintas proporciones, llamados flujos medios. El estudio de la alteración de un determinado nutriente en el medio, debe contemplar no sólo el tamaño de los reservorios, sino su transferencia, ya que la productividad viene determinada, más que por la concentración, por el flujo de transferencia.

Las alteraciones de la proporción en que se encuentran los nutrientes dentro de un ecosistema, afectan no sólo a su productividad, sino que tienen repercusiones dramáticas en la composición específica.

### Procesos de descomposición

En el estudio del flujo de energía de un ecosistema, los principales procesos que suelen ser investigados, son la productividad primaria, la energía procesada por los consumidores y la descomposición.

Quizá, debido a las dificultades metodológicas que se presentan, en los estudios sobre procesos de descomposición, en la identificación de los microorganismos que intervienen en aquéllos, los estudios de impacto ambiental omiten generalmente los puntos referentes a la descomposición de la materia orgánica, y su respuesta frente a los cambios del medio. Sin embargo, estos procesos son vitales para el funcionamiento del ecosistema, y por lo tanto, han de ser incluidos en cualquier estudio de impacto.

La descomposición de la materia orgánica es el resultado de una serie de procesos físicos como, por ejemplo, el fuego, y biológicos, como la actividad de bacterias y hongos. Estos son los principales descomponedo-

res de los ecosistemas, aunque también es de gran importancia la acción de protozoos, nemátodos y pequeños artrópodos.

En muchos sistemas, los detritívoros (organismos que se alimentan de materia orgánica en descomposición) cumplen una función relevante en los procesos de descomposición, al fraccionar la materia orgánica en descomposición, y de esta manera, aumentar la superficie sobre la que actúan los microorganismos. Además, proporcionan al medio las proteínas necesarias para estimular el crecimiento de las bacterias.

Por todo lo anteriormente expuesto, podemos decir que la descomposición es un fenómeno complejo, en el que intervienen gran variedad de individuos, que a su vez varían de unos ecosistemas a otros.

Para ver cómo influyen los procesos de descomposición sobre el ecosistema, hemos de tener en cuenta dos aspectos:

- Qué organismos son los principales descomponedores.
- Cuáles son los efectos del factor en descomposición sobre los descomponedores.

Estas dos cuestiones son válidas en caso de que se trate de grandes organismos, como los detritívoros, pero, quizá, no es demasiado práctico el sistema para los casos de comunidades de hongos y bacterias; ya que en estos casos, es posible determinar el tipo, número y biomasa de los microorganismos presentes, pero dada la dificultad del análisis, los resultados obtenidos no son siempre de gran fiabilidad.

En un estudio de los procesos de descomposición, hay que tener en cuenta factores como la temperatura y humedad de la materia en descomposición. En los casos en que el factor causante del impacto sea una sustancia añadida al medio, hay que comprobar si esta sustancia se descompone rápidamente o no, o si afecta a los descomponedores. Además, no se debe olvidar que, dentro de un sistema, los hongos y bacterias no actúan únicamente como descomponedores, sino que tienen una importante función en la obtención de energía primaria y en los ciclos biogeoquímicos.

### Desarrollo o sucesión de comunidades

Al hablar de los fenómenos de sucesión, nos referimos a unos cambios direccionales, más o menos preestablecidos, en la composición específica estructural de una comunidad, con el tiempo. La sucesión de las comunidades ha sido ya descrita por distintos autores, como MARGALEF (1968), que se basa en los grados de madurez del sistema, mientras que ODUM

(1969), además de apoyarse en este punto, contempla también aspectos como las características del ecosistema y los estados de desarrollo. En todos los casos, el desarrollo de las comunidades puede verse afectado por factores antropogénicos. En condiciones extremas, se invierte el fenómeno de sucesión, denominándosele entonces regresión.

En un estudio de impacto ambiental, la recopilación de los datos bibliográficos existentes sobre la zona en estudio, puede dar una idea del estado de sucesión en que se halla el ecosistema, y se puede prever la evolución del mismo sometido a cualquier tipo de intervención.

Las relaciones de factores ambientales permiten seleccionar los indicadores de impacto, que son el hilo conductor de la evaluación en las diferentes metodologías.

## OTROS IMPACTOS

Un proyecto o actividad pueden afectar a su entorno, natural y social, de forma amplia o reducida y puede incidir sobre pocos o muchos atributos del ambiente, depende de las características y tamaño del proyecto y de las condiciones del lugar de ubicación, es decir, de la situación del medio receptor.

Por ello no es posible detallar todos los efectos y la metodologías de estudio de los mismos, porque la casuística es muy grande. Sin embargo, es preciso mencionar, aunque sea brevemente, la consideración de los siguientes posibles efectos de un determinado proyecto o acción:

- Generación de residuos sólidos.
- Producción de residuos tóxicos y peligrosos.

## RESIDUOS SOLIDOS

El control de los residuos sólidos es el más sencillo puesto que producen deterioros visibles y fáciles de resolver por su concreción.

Los residuos sólidos se vienen clasificando en los siguientes grupos, según su procedencia:

- Residuos sólidos urbanos.

- Residuos sólidos industriales. Un capítulo importante dentro de estos, son los mineros.
- Residuos ganaderos y agrícolas.
- Residuos forestales.

Hay otras clasificaciones, por el tipo de materiales, por su naturaleza, por las posibilidades de tratamiento, etc., pero la clasificación más clara es por su fuente de producción.

En las E.I.A., es preciso analizar los residuos sólidos que se van a producir, las posibilidades de aprovechamiento de subproductos y desechos, los sistemas de recogida y tratamiento y la factibilidad del reciclado o recuperación de materias primas. El estudio se efectúa en dos vertientes: la técnica y la económica.

No cabe efectuar aquí un tratamiento completo del tema de los residuos sólidos sino llamar la atención para que en los trabajos de estudios de incidencia ambiental se consideren debidamente, desde su generación y fases intermedias, hasta su eliminación, tratamiento o depósito final.

Por su gran importancia, se comentan aparte los residuos tóxicos y peligrosos.

## RESIDUOS TOXICOS Y PELIGROSOS

La mayor parte de las sustancias orgánicas que se descargan en el medio acuático o en el suelo, se van descomponiendo bioquímicamente. Esta descomposición requiere oxígeno.

Pero bastantes de las sustancias que pueden ir a la corriente de aguas residuales de algunas plantas industriales pueden crear trastornos ecológicos por su toxicidad o por su persistencia, es decir, por su no biodegradabilidad, sobre todo en el medio marino. Un ejemplo son los organoclorados, el nitrobenzono, el tolueno y tantos otros productos químicos.

Hay que distinguir entre los residuos tóxicos y los peligrosos.

Las sustancias tóxicas producen efectos sobre el hombre de carácter químico, físico y psicológico, especialmente por sus propiedades tóxicas, inflamables y reactivas. Dentro de los productos tóxicos hay que distinguir entre los productos irritantes, carcinógenos, asfixiantes y los de efectos a largo plazo.

Los residuos peligrosos pueden afectar a la biota aunque no sean tóxicos; sus riesgos se derivan de su persistencia en el medio.

Un residuo o sus combinaciones, pueden suponer un riesgo para el hombre o las plantas cuando reúnen una o varias de las condiciones siguientes: no son degradables y permanecen en el lugar de vertido; pueden producir efectos nocivos o dañinos por acumulación; pueden sufrir transformaciones de tipo biológico, lo que incrementa sus efectos potenciales y si contienen elevada concentración de componentes mortales o letales.

Se puede definir la toxicidad como la aptitud o habilidad de las sustancias o moléculas químicas para producir daños cuando alcanzan un organismo o un determinado lugar. La toxicidad, que es esencialmente un fenómeno químico, puede ser crónica o aguda, local o global, y generalmente selectiva.

La concentración de tóxicos en el agua, es un aspecto básico en el diseño y especificación de las instalaciones necesarias de pretratamiento, tratamiento y eliminación y, por supuesto, es un parámetro que debe estudiarse bien en los análisis de impacto ambiental.

Cuando se intenta identificar el riesgo tóxico que puede suponer un determinado producto o residuo, éste se determina mediante medidas de concentración umbral de sus efectos.

### Unidades de medida de la toxicidad

Las unidades de medida normalmente utilizadas, son:

- *Dosis mínima mortal o letal*: esta concentración es en mg/kg de peso vivo o mg/unidad de ser vivo a partir de la cual se produce la muerte (DMM).
- *Dosis letal*: es la concentración que determina la muerte del 50 por 100 en un lote de organismos en el caso de un producto o residuo administrado por ingestión o inyección, en forma líquida o sólida ( $L D_{50}$ ).
- *Tolerancia límite media*: es la concentración que determina la muerte del 50 por 100 en un lote de organismos ensayados después de un tiempo de observación en horas (h). El tiempo suele ser de 96 horas. Las siglas de esta unidad son 96 - TLm en mg/l.
- *Concentración letal*: la concentración que determina la muerte del 50 por 100 en un lote de organismos ensayados después de un tiempo

po de observación de horas. El tiempo suele ser de cuatro horas. La dosis es administrada por vía respiratoria. ( $L D_{50}$ ) en mg/l.

- *Grado de irritación cutánea*: indicación de muerte del tejido o necrosis, resultante de la irritación de los tejidos epiteliales, causada por la aplicación de solución química al 1 por 100.
- *Límite de inhibición medio*: es la concentración a la cual tiene lugar un 50 por 100 de reducción de la biomasa, número de células o actividad fotosintética del cultivo de ensayo comparado frente a un cultivo de control a lo largo de 14 días. (ILm en mg/l).
- *Cambios genéticos*: alteraciones moleculares de los ácidos desoxirribonucleicos o ribonucleicos de las células meioticas, resultantes de ataques químicos o radiaciones de partículas electromagnéticas.
- *Cancerígeno*: reproducción anómala de células, a partir de un tumor o neoplasma que se origina en uno o varios tejidos del organismo.

La Organización Mundial de la Salud ha definido para el caso de contaminación en el hombre los siguientes parámetros:

- Dosis diaria admisible por ingestión mg/día.
- Dosis semanal tolerable mg/siete días.
- Valor umbral límite, concentración límite en el aire y en el puesto de trabajo, en mg/m<sup>3</sup> y ppm (partes por millón).

El efecto de toxicidad depende de muchos factores, tales como la agresividad del agente tóxico, composición química, dispersión en el medio, concentración, sinergismo o antagonismo de contaminantes, de la resistencia opuesta por el receptor, grado de asimilación, acumulación, inhibición, escleriosis y muerte.

Finalmente, la toxicidad puede ser aguda y crónica. Aguda es el efecto causado por un componente químico en un corto espacio de tiempo o en una única dosis. Crónica es el efecto causado por un compuesto químico en un largo período de tiempo.

La industria química genera la mayor parte de los residuos tóxicos y peligrosos y son los subproductos inevitables de las técnicas industriales. En los últimos años ha aumentado considerablemente la cantidad y también la complejidad del estudio y tratamiento de los residuos tóxicos y pe-

ligrosos, pero también es cierto que cada vez existe una mayor conciencia de los peligros que presentan y de la necesidad de eliminar los deterioros que hayan podido causar y sobre todo, prevenir los riesgos potenciales que puedan provocar por su depósito incontrolado en diversos puntos del territorio o su vertido en el mar.

Para prevenir los potenciales perjuicios, sobre la salud, de las sustancias químicas es necesario conocer los caminos por los que dichas sustancias llegan a los ecosistemas y al hombre, así como las reacciones y transformaciones que tienen lugar, su destino final y su degradabilidad o persistencia.

Las sustancias químicas se introducen en el aire, en el agua y en el suelo a lo largo de su ciclo de producción-transporte-utilización o en su eliminación. Los vectores fundamentales por los que las sustancias tóxicas llegan al hombre son el agua y el suelo. También se incorporan al medio ambiente por medio de reacciones intermedias ligadas a la producción y consumo de energía.

De los millones de toneladas de residuos producidos, un 90 por 100 guardan estrecha relación con el agua, al ser este elemento el agente transportador. Así, parte de los residuos, son asimilados por la naturaleza mediante los mecanismos de autodepuración natural, parte son depurados por sistemas clásicos de tratamiento y una tercera parte constituyen los residuos especiales, o peligrosos, o de imposible eliminación. El mayor problema que plantean los residuos es que son persistentes, ya que no se biodegradan y se van acumulando en los diferentes organismos.

Uno de los caminos críticos por los que la contaminación química llega al hombre es la alimentación, de ahí la atención que hay que prestar a los aditivos químicos, a los restos de pesticidas y herbicidas que pueden quedar en los vegetales y a los componentes peligrosos o tóxicos de los productos que frecuentemente ingerimos.

Los metales pesados pueden llegar a las aguas subterráneas, a las superficiales, al suelo o al mar por numerosas vías y sus efectos nocivos son perjudiciales para la salud pública por acumulación en las cadenas alimenticias y para los organismos marinos. Entre los metales pesados más perjudiciales hay que destacar el mercurio, el plomo, cadmio, arsénico, cobre, zinc, cromo y vanadio. Los metales pesados llegan al mar a través de los ríos y emisarios o por vertidos directos. La mayor aportación de estos metales tiene su origen en los efluentes industriales, aunque las aguas residuales urbanas también los contienen, en mucha menor cuantía.

Los daños o efectos que los productos químicos pueden causar en el hombre y en los ecosistemas, en los que vive y de los que depende, tienen

un espectro muy amplio. Exposiciones cortas pero con emisiones elevadas de determinados productos pueden causar envenenamientos, intoxicaciones y alteraciones graves en un plazo corto. En tanto que exposiciones continuadas a bajas dosis pueden ocasionar enfermedades crónicas pulmonares, cáncer, esterilidad y otros problemas, entre los que hay que destacar las posibles malformaciones congénitas por el carácter mutágeno de algunos productos químicos.

Quizás la mayor dificultad en la gestión de los residuos tóxicos y peligrosos es la falta de conocimientos existentes en cuanto a sus efectos a corto, medio y largo plazo, en la flora y fauna terrestre, su incidencia en las cadenas tróficas y especialmente en el medio marino.

Realmente se sabe muy poco de lo que sucede con los contaminantes una vez que se han introducido en el mar, puesto que los contaminantes se pueden alterar, ser absorbidos por los organismos marinos, pasar a los sedimentos e incluso volver a la atmósfera.

Sin embargo, a pesar de esta falta de conocimiento real de los efectos e incidencia del vertido de sustancias tóxicas y peligrosas en el medio, preocupa enormemente la posibilidad de que las concentraciones de materias tóxicas puedan alcanzar valores tales que la exposición de los organismos a ellas en el océano abierto, así como en el océano costero, y en el medio terrestre o en las aguas continentales, produzca altos porcentajes de mortalidad o morbilidad, porque al llegar a ese punto no hay posibilidad de retroceso.

La industria química y petroquímica han sido consideradas normalmente como las mayores responsables de los vertidos de productos tóxicos a las aguas residuales, quizás por la asociación de ideas que se produce entre los productos químicos tóxicos y la industria química. Hay que tener en cuenta que muchas veces los efectos de esa contaminación van unidos a fenómenos originados lejos de las plantas de producción. Estos fenómenos son normalmente debidos a uso indebido de productos, averías, accidentes.

La industria química y petroquímica se caracterizan por su variedad de procesos de fabricación, por el gran número de productos obtenidos y por su constante transformación, sobre todo en la petroquímica. Sus efluentes contienen también numerosas sustancias tóxicas, en mayor o menor concentración, pero es necesario analizar detenidamente cada proceso y las condiciones de cada planta.

Los sectores industriales que generan efluentes conteniendo residuos tóxicos y peligrosos más significativos son los siguientes:

— Refinerías de petróleo.

- Petroquímica.
- Química inorgánica.
- Caucho.
- Pesticidas y plaguicidas.
- Siderurgia.
- Minería.
- Tratamiento de superficies.
- Curtición de pieles.
- Farmacéutico.
- Celulosa y papel.
- Textil.
- Plásticos.
- Detergentes.
- Equipo eléctrico.
- Equipo electrónico.

En la TABLA XIX se indican los productos incluidos en la lista prioritaria para el control de residuos tóxicos y peligrosos.

En la TABLA XVI se indican los productos incluidos en la lista prioritaria de sustancias tóxicas, incluidas en la Ley para el Control de Sustancias Tóxicas (Toxic Substances Control Act) en Estados Unidos.

## 2. Datos meteorológicos y topográficos

Los factores climatológicos y geográficos son los que condicionan en buena medida la dispersión.

Se entiende por dato climatológico el resultado de la observación local, sistemática y regular de una variable meteorológica, durante un tiempo suficiente para que sus promedios e índices estadísticos tengan una garantía apreciable de estabilidad.

Los factores climatológicos a considerar en un estudio de dispersión pueden ser muy diversos al darse la circunstancia de que alguno de ellos, considerado insignificante a primera vista, puede tener una importante aplicación en el estudio.

En España los observatorios no suelen estar en el lugar de ubicación de la instalación, por lo que habrá de realizarse correlación y contrastación de datos al menos de dos observatorios lo más próximos posible a

TABLA XIX

**Lista prioritaria de sustancias tóxicas incluidas en la Ley para el control de sustancias tóxicas (T.S.C.A.) (Estados Unidos de América)**

— Acetonitrilo	— Diclorometano
— Acrilamina	— 1,2-Dicloropropano
— Alkil, epóxidos	— Fenilenediaminas
— Alkil, expóxidos halogenados	— Fluoroalkenos
— Alkil ftalatos	— Glícol y sus derivados
— Alkilestaño, compuestos de	— Hexacloro - 1,3- butadieno
— Anilina y bromo, cloro y/o nitrógeno anilinas	— Hexaclorociclopentadieno
— Antimonio (metal)	— Hidroquinona
— Antimonio, sulfuro de	— Isoforona
— Antimonio, trióxido de	— Mesitylo, óxido de 4,4 - Metilenedianilina
— Aril fosfatos	— Metil etil cetona
— Bencenos clorados mono- y di-	— Metil isobutil cetona
— Bencenos clorados, tri-tetra y penta	— Naftalenos clorados
— Bencidina, tintes derivados de la	— Nitrobenceno
— Bencil butil ftalano	— Parafinas cloradas
— Butil glicolil butil ftalano	— Piridina
— Ciclohexanona	— Quinona
— Cresoles	— Tarfenilos policlorados
— o-Dianisidina, tintes derivados de la	— o-Tolidina tintes derivados de
	— Tolueno
	— 1,1,1,-Tricloroetano
	— Xileno

En la TABLA XX figura la lista de sustancias tóxicas y peligrosas prioritarias de la Comunidad Económica Europea, incluida en la Directiva del Consejo de las Comunidades Europeas, de 20 de marzo de 1978.

TABLA XX

**Lista de sustancias o materias tóxicas y peligrosas de la Comunidad Económica Europea de carácter prioritario**

1. El arsénico, compuesto de arsénico.
2. El mercurio, compuesto de mercurio.
3. El cadmio, compuesto de cadmio.
4. El talio, compuesto de talio.
5. El berilio, compuesto de berilio.
6. Compuestos de cromo hexavalente.
7. El plomo, compuestos de plomo.
8. El antimonio, compuesto de antimonio.
9. Los fenoles, compuestos fenolados.
10. Los cianuros, orgánicos e inorgánicos.
11. Los isocianatos.
12. Los compuestos organo-halógenos, con exclusión de las materias polimerizadas inertes y otras sustancias determinadas en esta lista o por otras directivas que traten de la eliminación de residuos tóxicos o peligrosos.
13. Los disolventes clorados.
14. Los disolventes orgánicos.
15. Los biocidas y las sustancias fitofarmacéuticas.
16. Los productos a base de alquitrán procedentes de operaciones de refinado y los residuos alquitranados procedentes de operaciones de destilación.
17. Los compuestos farmacéuticos.
18. Los peróxidos, cloratos, percloratos y nitruros.
19. Los éteres.
20. Las sustancias químicas de laboratorio no identificables y/o nuevos cuyos efectos sobre el medio ambiente no sean conocidos.
21. El amianto (polvos y fibras).
22. El selenio: compuestos de selenio.
23. El telurio: compuestos de telurio.

TABLA XX (continuación)

24. Los compuestos aromáticos policíclicos (con efectos cancerígenos).
25. Los metales carbonilos.
26. Los compuestos de cobre soluble.
27. Las sustancias ácidas y/o básicas utilizadas en los tratamientos de superficie de los metales.

En la TABLA XXI se indican las sustancias que en España consideró el Ministerio de Industria y Energía debían calificarse como productos tóxicos y peligrosos. Se recogieron en un anexo sobre estos residuos del proyecto de reglamento que desarrolla la Ley 42/1975, de 19 de noviembre, sobre desechos y residuos urbanos, no aprobado ni publicado. Pero se indican como orientación.

TABLA XXI

**Sustancia y productos tóxicos y peligrosos en España**

- Amianto y sus derivados.
- Antimonio y sus derivados.
- Arsénico y sus derivados.
- Berilio y sus derivados.
- Cadmio y sus derivados.
- Cianuros, excluidos los ferrocianuros y ferricianuros.
- Cromo hexavalente.
- Derivados orgánicos halogenados, excluidas las materias polimerizadas inertes.
- Difenilos policlorados (PCB).
- Disolventes a base de compuestos aromáticos.
- Disolventes clorados.
- Eteres.

TABLA XXI (continuación)

- Fenoles.
  - Isocianatos.
  - Mercurio y sus derivados.
  - Peróxidos, cloratos y nitruros.
  - Plaguicidas, insecticidas y sustancias fito-sanitarias.
  - Plomo y sus derivados.
  - Productos derivados del alquitrán.
  - Productos explosivos.
  - Productos farmacéuticos.
  - Reactivos y residuos de laboratorio.
  - Residuos de tipo biológico.
  - Talio y sus derivados.
  - Terpelinos policlorados (PCT).
- 

## Casos prácticos de evaluaciones del Impacto Ambiental

Como complemento y síntesis de lo expuesto en capítulos anteriores, parece oportuno aplicar los conceptos y técnicas de la evaluación de impacto ambiental a algunos casos, con el fin de orientar al lector en la forma de operar, sistemática y metodología.

En este capítulo se estudian cuatro casos, de los más frecuentemente evaluados mediante los análisis de impacto ambiental y suficientemente representativos. El primero es especialmente complejo y corresponde a un conjunto de industrias del sector de refino de petróleo y petroquímica, integradas en un área costera de fuerte desarrollo industrial y urbano; el segundo se refiere a embalses de usos múltiples y centrales hidroeléctricas; el tercero a plantas de cemento y el cuarto, a la implantación de centrales termonucleares.

No se incluye toda la información porque algunos de ellos se han desarrollado en centenares de páginas y el único objetivo es que sirvan de orientación para los equipos y profesionales que realicen evaluaciones de impacto ambiental.

Para que esta información sea más útil, diversos aspectos se han generalizado, por cuanto era de menos interés el detalle correspondiente, por ejemplo, a las condiciones geobiofísicas de un determinado emplazamiento que la descripción de los datos y documentación precisa y disponible para llevar a cabo el estudio.

## CASO 1

### **EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UN PUERTO INDUSTRIAL Y SU ENTORNO. INDUSTRIAS PETROQUIMICAS Y REFINO DE PETROLEO**

Este caso corresponde a un proyecto mexicano de gran importancia, enmarcado en el Programa de Puertos Industriales y se refiere a la evaluación del Impacto Ambiental del Puerto Industrial de la Laguna del Ostión y su entorno, constituido por numerosas industrias químicas, una gran refinería de petróleo y la población de la zona conurbada de Coatzacoalcos Minatitlan-Cosoleacaque. Está situado en el norte de la región istmica de México, en el istmo de Tehuantepec, al sur del estado de Veracruz.

La E.I.A., se dividió en tres fases, además del estudio preliminar, cuyo contenido es el siguiente:

#### *I. Primera Fase*

##### **A) Descripción del proyecto y su entorno.**

Puerto Industrial.

Industrias, especialmente petroquímicas.

##### **B) Descripción del medio ambiente antes de implantar el proyecto.**

Medio físico.

Medio biológico.

Medio socioeconómico.

*II. Segunda fase*

Evaluación de los impactos ambientales producidos por el Puerto y el Complejo Petroquímico.

*III. Tercera fase*

Medidas de atenuación de los impactos ambientales.

Medidas de atenuación de los impactos debidos al Puerto.

Medidas correctivas para reducir los impactos debidos al Complejo petroquímico Laguna del Ostión.

- Medidas para reducir la contaminación atmosférica.
- Episodios y situaciones de emergencia. Accidentes y riesgos.
- Eliminación de olores molestos.
- Control del ruido.
- Depósito de residuos sólidos.
- Residuos tóxicos y peligrosos.
- Tratamiento de los efluentes líquidos.

Protección del medio hidrológico y protección de suelos.

Gestión de los recursos naturales bióticos.

Redes de vigilancia de la calidad ambiental.

*IV. Conclusiones y recomendaciones.***DESCRIPCION DEL PROYECTO Y SU ENTORNO**

Este proyecto se encuadró dentro del Programa de Puertos Industriales de México, cuyo primer propósito es fomentar el desarrollo económico y social del país, estableciendo en las áreas de esos puertos la industria de punta, la industria pesada que el país necesita para su desarrollo futuro y, posteriormente, la industria mediana y pequeña que permita la creación de numerosos empleos.

En segundo término, persigue la desconcentración de la actividad económica, que tradicionalmente se había asentado en el Altiplano mexicano.

Es importante recordar que en 1982 en el Valle de México había alrededor de 16 millones de habitantes y que para el año 2.000 se estima que la Ciudad de México puede tener una población entre 25 y 28 millones de personas. De ahí la enorme significación del Programa de Puertos Industriales. Este Programa consta de cuatro puertos: Altamira, Laguna de Ostión, Lázaro Cárdenas y Salina Cruz. Los dos primeros se sitúan en la costa del golfo de México y los dos últimos en la costa del Pacífico. Altamira y Lázaro Cárdenas están en construcción avanzada. Laguna de Ostión y Salina Cruz están en la zona del istmo de Tehuantepec y unirían por carretera y ferrocarril la costa del Pacífico y la del golfo de México, en el proyecto denominado Alfa-Omega, de gran envergadura.

Los lugares donde se ubican los puertos industriales poseen la conjunción de factores favorables para el desarrollo. Ahí se encuentran los recursos naturales y los energéticos. La idea es, pues, que constituyan verdaderos polos de atracción para el desarrollo económico; que sea la industria, en primer término, pero después toda la actividad económica, la que pueda ir surgiendo en estos lugares, atrayéndola de los sitios en donde ha estado su tradicional asiento.

El Programa de Puertos Industriales pretende también elevar el nivel de vida de los habitantes de esas zonas. Se prevé por ello que los puertos cuenten con buenas condiciones de habitabilidad, con servicios educativos y asistenciales, con un medio ambiente sano, con las comunicaciones precisas y en definitiva, con las condiciones que permitan mejorar la calidad de vida de esta población.

En la FIGURA 29 se indica la zona objeto de estudio.

**Complejo petroquímico del Ostión. Ubicación**

El complejo petroquímico del Ostión, de PEMEX, se previó ubicarlo al SE de La Laguna del Ostión, de acuerdo con la «Solución Sur» adoptada para el Puerto. Esta alternativa aparece en la FIGURA 30 y en ella se han señalado los espacios reservados como áreas industriales, petroquímica, transformadora, minero metalúrgica, desarrollo de acuicultura, reserva biológica y otras.

En la primera etapa se previó destinar 2.000 hectáreas para uso industrial, 900 hectáreas para uso urbano y 3.000 hectáreas como reserva ecológica, además del terreno que PEMEX destine a sus instalaciones.

El ámbito espacial considerado en el estudio fue el área comprendida

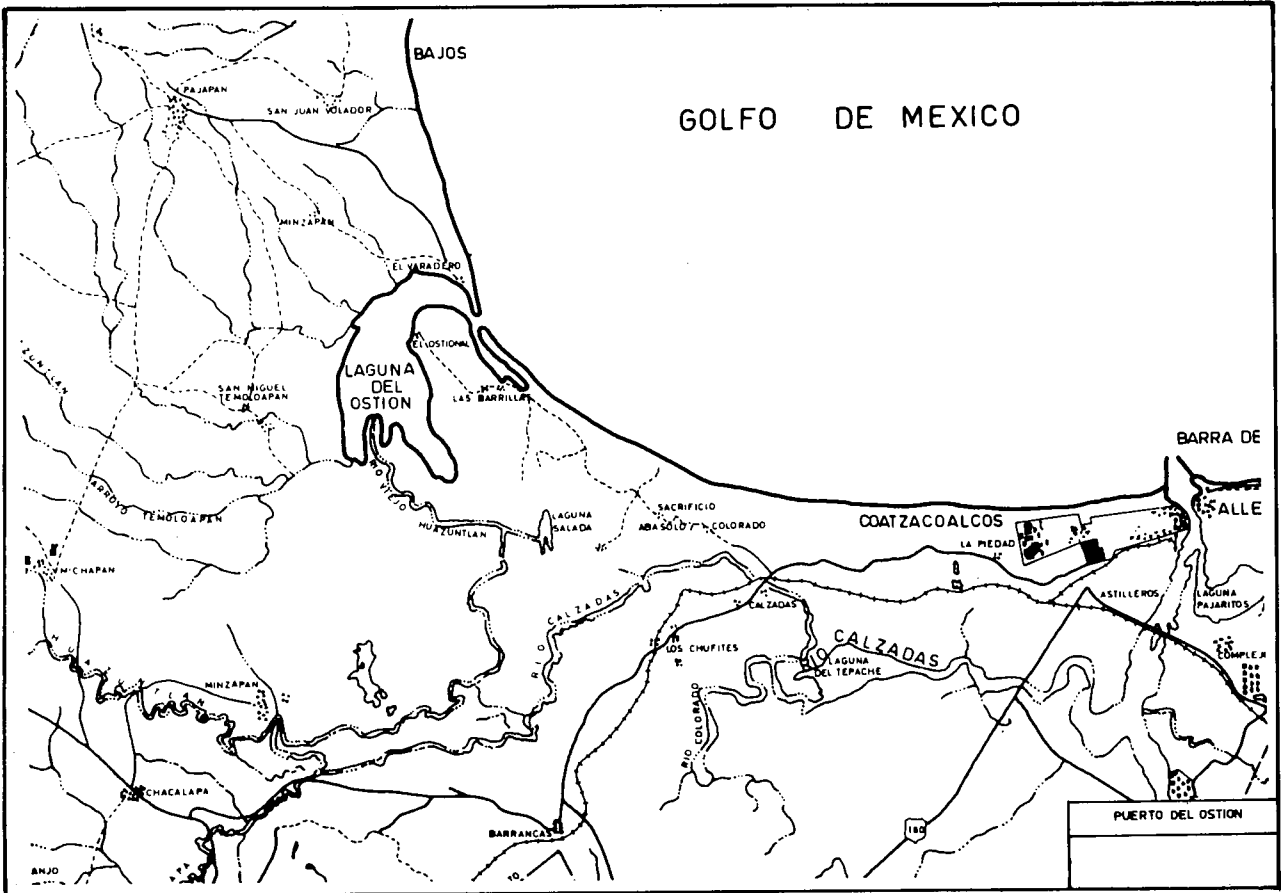
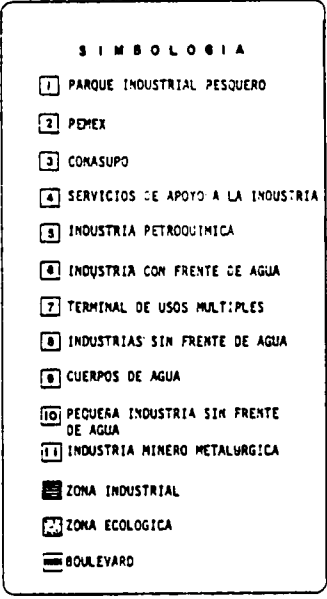
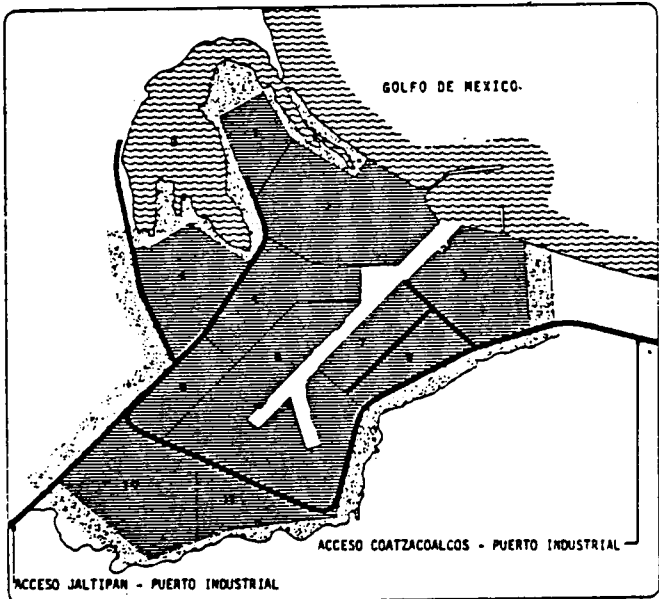


FIGURA 29

AREA INDUSTRIAL PORTUARIA, OSTION



FONDEPORT - SAHOP

FIGURA 30



Este proyecto consta de una dársena situada hacia el sur del litoral (de cuyo emplazamiento recibe su nombre), con una longitud de unos 7 km, compuesta de dos alineaciones de 4 km y 3 km respectivamente. El eje longitudinal de la primera alineación coincide sensiblemente con el eje del canal de entrada.

Con esta «Solución Sur» para el Puerto, el complejo petroquímico de PEMEX «Laguna del Ostión» se localizaría al oeste de la misma, dejando libres los terrenos colindantes de la Laguna del Ostión para zona de reserva ecológica.

Así pues, el complejo petroquímico se emplazaría cerca de la zona de dunas.

Las previsiones de tráfico marítimo para este Puerto son muy importantes, por lo que en la Evaluación de los Impactos Ambientales de esta obra hay que prever los efectos que sobre el entorno puede representar el manejo y transporte de tales productos.

Se estimó un tráfico marítimo superior a los diez millones de toneladas/año constituido principalmente por los siguientes productos: graneles secos (alúmina, cereales, cemento y urea); líquidos (azufre líquido, amoníaco, ácido fosfórico y productos petroquímicos) y carga general.

### Industrias

Aunque en el entorno de este Puerto se establecerán numerosas industrias, el sector más importante es el petroquímico, tanto por el nuevo complejo de PEMEX Laguna del Ostión, como por las muchas plantas ya existentes en Cosoleacaque, Minatitlán, Pajaritos y la Cangrejera, así como las ampliaciones previstas y nuevas unidades en planeación, como Morelos. Realmente este conjunto de plantas petroquímicas puede calificarse como uno de los mayores complejos químicos del mundo.

Con el fin de apreciar la importancia y concentración de industrias químicas que se va a producir en esta región se indican a continuación las unidades de producción existentes y en proyecto en los siguientes complejos petroquímicos: Cosoleacaque, Minatitlán, Pajaritos, La Cangrejera, Laguna del Ostión y Morelos. Todos están en operación, menos los dos últimos.

### Refinería «Lázaro Cárdenas» de Minatitlan y Plantas Petroquímicas integradas en la misma

La capacidad de esta refinería es de 290.000 barriles/día (BD) procedentes 200.000 BD de crudo y 90.000 BD de líquidos del gas natural.

Las capacidades de las unidades básicas son las siguientes:

<i>Unidad</i>	<i>Capacidad nominal Barriles por día</i>
Destilación primaria .....	72.000
Destilación primaria .....	28.500
Destilación primaria .....	28.500
Destilación primaria y secundaria .....	6.000
Destilación primaria y secundaria .....	65.000
Destilación al vacío .....	25.000
Destilación secundaria (preparadora de carga) .....	32.000
Fraccionadora de gasolina natural .....	90.000
Hidrosulfuradora de gasolina .....	21.000
Hidrosulfuradora de kerosinas .....	12.000
Hidrosulfuradora de Diesel .....	17.000
Reformadora catalítica de gasolina .....	12.000
Desintegración catalítica FCC .....	24.000
Desintegración catalítica TCC .....	21.000
Polimerización catalítica .....	600

Se han previsto también las siguientes nuevas unidades:

Hidrosulfuradora de destilados intermedios .....	25.000
Hidrosulfuradora de naftas .....	25.000
Reformadora de naftas pesadas .....	20.000
Endulzadora de gases licuados FCC .....	8.000
Tratadora y endulzadora de hidrocarburos .....	12.100
Reductora de viscosidad .....	50.000
Alto vacío de residuo viscorreducido .....	50.000

La producción es:

<i>Productos</i>	<i>Barriles por día</i>
Gases licuados .....	60.000
Gasolina .....	70.000
Diesel + kerosina .....	70.000
Combustóleo .....	57.000
Turbosina .....	8.000
Petroquímicos (aromáticos, etc.) .....	7.000
Hexano .....	2.000
Heptano .....	2.000
Asfaltos .....	500

Existe asimismo en operación un complejo petroquímico compuesto por las siguientes unidades:

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Alkar	Etilbenceno	8.000
Ciclohexano	Ciclohexano	106.000
Fraccionamiento de solventes:	Heptano	10.000
	Hexano	20.000
Hydeal	Benceno	70.550
Reformadora Btx	Benceno	53.700
Extractora Udex	Tolueno	100.000
Fraccionadora de aromáticos:	Etilbenceno	9.550
	Meta y Paraxileno	40.612
	Aromina 100	7.400
Super fraccionamiento de xilenos:	Ortoxileno	11.252
	Aromáticos pesados	7.400

Esta refinería es realmente compleja, para su tratamiento ambiental, como lo demuestra el hecho de que existen, por ejemplo, 52 chimeneas; 6 antorchas bajas que queman muy mal o la no segregación de las corrientes de efluentes líquidos.

### Complejo petroquímico Cosoleacaque

El Complejo Petroquímico Cosoleacaque está situado al noroeste de la Ciudad de Minatitlán, aproximadamente en el ángulo que forma la carretera de Veracruz a Coatzacoalcos y la vía del ferrocarril a Minatitlán, a unos 5 km. del río Coatzacoalcos.

### Plantas de amoniaco

El Complejo Petroquímico de Cosoleacaque está dedicado a la producción de amoniaco y es el complejo productor de amoniaco mayor del mun-

do. Hay siete plantas de amoniaco en producción. El amoniaco se obtiene a partir del gas natural, por reformado y síntesis.

Las capacidades de cada una de las plantas es la siguiente:

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Amoniaco I:	Amoniaco	60.000
	Anhídrido carbónico	66.000
Amoniaco II:	Amoniaco	300.000
	Anhídrido carbónico	376.000
Amoniaco III:	Amoniaco	300.000
	Anhídrido carbónico	376.000
Amoniaco IV:	Amoniaco	445.000
	Anhídrido carbónico	560.000
Amoniaco V:	Amoniaco	445.000
	Anhídrido carbónico	560.000
Amoniaco VI:	Amoniaco	445.000
	Anhídrido carbónico	560.000
Amoniaco VII:	Amoniaco	445.000
	Anhídrido carbónico	560.000

Además se obtienen los siguientes productos:

Acrilonitrilo	Acetonitrilo	230
	Acrilonitrilo	24.000
	Acido cianhídrico	3.750
	Sulfato de amonio	9.400
Isomerización de xilenos	Paraxileno	40.000

### PAJARITOS

#### En operación

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Acetaldehido	Acetaldehido	44.000
	Cloruro de vinilo	70.000
Cloruro de vinilo:	Acido clorhídrico	45.111
	Acido muriático	36.000
Criogénica	Etano	100.000

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Dicloroetano I	Dicloroetano	41.700
Dicloroetano II	Dicloroetano	42.350
Dicloroetano (oxicloración)	Dicloroetano	68.640
Etileno I	Etileno	27.210
Etileno II	Etileno	182.000
Oxido de etileno	Oxido de etileno	28.000
Percloroetileno:	Percloroetileno	8.000
	Acido clorhídrico	7.128

**En construcción**

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Dicloroetano III	Dicloroetano	115.000
Dicloroetano (oxicloración)	Dicloroetano	215.000
Cloruro de vinilo III:	Monómero de vinilo	200.000
	Acido clorhídrico	120.000
Percloroetileno II:	Percloroetileno	16.000
	Acido clorhídrico	14.400
Tetracloruro de carbono:	Tetracloruro de carbono	16.000
	Acido clorhídrico	7.200

Junto al Complejo de Pajaritos se encuentra otro importantísimo complejo básico, que es el de la Cangrejera.

**LA CANGREJERA**

En el Complejo de la Cangrejera hay 19 plantas petroquímicas y una de gases dedicada a la obtención de oxígeno y nitrógeno del aire.

En este Complejo se producen principalmente los siguientes productos:

— Acetaldehído	— Polietileno baja densidad
— Oxido de etileno	— Propileno
— Etileno	— Cumeno

— Estireno	— Fenol
— Etilbenceno	— Acetona

Así como un importante conjunto de plantas tratadoras y preparadoras de carga. Las producciones son las siguientes:

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Acetaldehído	Acetaldehído	100.000
Oxígeno	Oxígeno	200.000
	Nitrógeno	20.000
Estabilizadora de crudo	Crudo	200.000 BDC
Fraccionadora de líquidos criogénicos y endulzadora de propano:	Etano	704.880
	Propano	27.500 BDC
	Butano	12.340 BDC
	Gasolina natural	11.806 BDC
Recuperadora de licuables	Gases licuados de petróleo	10.000 BDC
Hidrodeshulfuradora de naftas		86.000 BDC
Reformadora BTX		45.000 BDC
Fraccionadora de aromáticos (incluye Fracc. de Xilenos)	Benceno	299.000
	Tolueno	371.000
	Meta y Paraxileno	370.000
	Ortoxileno	55.000
	Aromáticos pesados	50.000
Extractora de aromáticos		17.500 BDC
Xilenos plus		13.000 BDC
Hidrodealquiladora de tolueno		2.910 BDC
Cristalización de Paraxileno	Paraxileno	240.000
Isomerización de Xilenos		43.000 BDC

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Fraccionamiento de solventes:	Heptano	11.000
	Hexano	35.000
Etileno	Etileno	500.000
Polietileno baja densidad	Polietileno B.D.	240.000
Estireno y etilbenceno:	Estireno	150.000
	Etilbenceno	187.500
Oxido de etileno	Oxido de etileno	100.000
Cumeno	Cumeno	40.000
Ciclohexano	Ciclohexano	120.000
Purificadora de hidrógeno		33 MMPCD

Además de estas plantas se han programado otros dos grandes Complejos Petroquímicos, los de la Laguna del Ostión y Morelos.

El Complejo Petroquímico de Laguna del Ostión, constará de las siguientes plantas de producción:

#### LAGUNA DEL OSTION

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Hidrosulfuradora de gasolina natural	Benceno	299.000
Reformadora de gasolina ligera BTX	Tolueno	371.000
Extractora y fraccionadora de aromáticos	Xilenos	310.000
Fraccionadora de Xilenos	O - Xilenos	55.000
Hidrodealquilación	Aromáticos pesados	50.000

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Fraccionamiento de solventes	Hexano	35.000
	Heptano	11.000
Isomerización de Xilenos		43.000 BDC
Cristalización de paraxilenos	Paraxilenos	240.000
Clorados IV:	Cloruro de vinilo	300.000
	Acido clorhídrico	180.000
	Percloroetileno	16.000
	Tetracloruro de carbono	16.000
Cloruro de etileno	Cloruro de etileno	30.000
Etanol	Etanol	50.000
Cloruro de alilo	Cloruro de alilo	30.000
Metanol I	Metanol	825.000
Metanol II	Metanol	825.000
Etileno	Etileno	500.000
	Propileno	26.900
Cumeno	Cumeno	60.000
Polietileno B.D.	Polietileno B.D.	240.000
Alcoholes lineales	Alcohol de C <sub>4</sub> - C <sub>18</sub>	10.000
Estireno	Estireno	150.000
Etilbenceno	Etilbenceno	187.500

#### MORELOS (VER.)

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Acetaldehído III	Acetaldehído	150.000
Butadieno II	Butadieno	100.000

<i>Planta</i>	<i>Producto</i>	<i>Capacidad Nominal (Tons/Año)</i>
Etileno VI:	Etileno	500.000
	Propileno	26.900
Oxígeno II:	Oxígeno	350.000
	Nitrógeno	60.000
Oxido de etileno III	Oxido de etileno	200.000
Oxido de propileno	Oxido de propileno	100.000
Polietileno A.D.	Polietileno A.D.	100.000
Propileno	Propileno	350.000
Polipropileno	Polipropileno	100.000
Acrilonitrilo	Acrilonitrilo	50.000
	Acido cianhídrico	7.500
Alcohol isopropílico	Alcohol Isopropílico	75.000
MTBE	Metil-Terbutil-eter	60.000
Fraccionadora de Hidro-carbuos y líquidos con endulzadora de propano:	Etano	704.880
	Propano	27.500 BDC
	Butano	12.340 BDC
	Gasolina natural	11.806 BDC

En este polo industrial, existen numerosas unidades de producción pero sólo se consideran las industrias del petróleo y petroquímicas más importantes, es decir, los diferentes complejos petroquímicos de PEMEX, que se han citado y que configuran industrialmente este área.

Asimismo, hay un elevado número de plantas químicas inorgánicas que producen ácido sulfúrico, ácido fosfórico, ácido nítrico, fertilizantes, azufre, sal, cloro, ácido clorhídrico, sosa, urea y otros.

Como puede observarse en esta zona conurbada de Coatzacoalcos-Minatitlán-Cosoleacaque se fabrica o se va a fabricar, un espectro amplísimo de productos por lo que puede asegurarse que como materias primas, productos intermedios, productos finales, subproductos o residuos se pueden encontrar todos o casi todos los productos petroquímicos básicos que maneja hoy la moderna industria química.

## DESCRIPCION DEL MEDIO AMBIENTE ANTES DE IMPLANTAR EL PROYECTO

### Medio físico

El proyecto del Puerto Industrial de Laguna de Ostión se localizó en la micro-región de Coatzacoalcos-Minatitlán, al sur del estado de Veracruz, en la llanura costera de levantamiento del Golfo de México.

Son territorios del litoral más meridional del Golfo de México, situados en una latitud entre 18° 10' y 17° 45' N y longitudes comprendidas entre 95° 05' y 94° 25' W. Se trata por tanto de un sector tropical del litoral caracterizado por su clima cálido húmedo, con una estación preferente de lluvias, con precipitaciones entre 2.000 y 2.500 mm y temperaturas medias mayores de 18°C en el mes más frío y media anual de 22°C.

La característica del litoral en el área de estudio es típica de tierras bajas con elevaciones de algunas decenas de metros a lo sumo: se trata de un paisaje de llanuras costeras, muy característico de la mayor parte de las costas del Golfo de México, desde el Yucatán hasta Florida, debido a su pareja evolución geológica desde el mesozoico con una regresión continuada de la línea de costa interrumpida por episodios de transgresiones parciales en relación con las glaciaciones cuaternarias.

La elevada precipitación condiciona cursos importantes de agua con elevados aportes de materiales. Al desarrollarse sobre un relieve de baja o nula energía, existe predominio de fenómenos sedimentarios que en contacto con el mar dan el amplio rango de ambientes estuarinos.

La circulación general de corrientes del Golfo de México con sentido de giro a la derecha, sufre modificaciones locales (revesas) de diferente escala, debidas a topografía o geometría costera o la existencia de vientos locales (componente N y NE), intensos, parte del año. El resultado es un complejo de corrientes costeras variadas de un sitio a otro, pero suficientemente intensas para permitir un gran transporte costero de materiales. La conjugación de aporte fluvial elevado y transporte costero de materiales, origina una gran variedad de fenómenos morfológicos costeros, especialmente anomalías máscas: barreras, bancos, islas, barrás, tómbolos y canales, lagunas, etc.

Otras dos fuentes de variación se han superpuesto para crear la gran riqueza de formas presente en el Golfo de México. La intensa actividad volcánica terciaria (que se ha continuado hasta la actualidad), responsable de la aparición de macizos, depósitos, coladas, arrecifes y costas escarpa-

das, etc., que modelan profundamente los accidentes propiamente litorales. Además y durante el cuaternario, han tenido lugar importantes cambios eustáticos; los más importantes son en la génesis costera los movimientos de ascenso marinos tras la última glaciación (Winsconsin), que ha representado en el Golfo una elevación de unos 40 m. en 10.000 años.

Como actividad geomórfica importante del litoral en la actualidad, están los tornados o huracanes. Su capacidad geomorfológica viene dada por la superposición de fenómenos intensos asociados siempre a su considerable acumulación de energía: vientos muy intensos que provocan enorme oleaje al que se superpone una elevación del nivel marino originada por la seca que acompaña la depresión central de la perturbación. Estos fenómenos asociados a lluvias torrenciales dan lugar a modificaciones profundas de morfología costera: rotura de barreras dunares litorales con creación de canales y desmantelamientos de formas anteriores. Los cambios pueden generar patrones nuevos de descarga de las aguas continentales y de marea, y profundas transformaciones de marismas, esteros, lagunas y dunas.

La rica variedad de fenómenos enumerada, condiciona los tipos de paisaje del Golfo de México: un litoral bajo, protegido por barreras arenosas interrumpido ocasionalmente por un litoral escarpado, formado sobre materiales de origen volcánico o sedimentario. Tras las barreras arenosas de morfología variada hay frecuente creación de sistemas de lagunas litorales y pantanos en relación con estuarios.

La intensa dinámica, cuyas causas se han mencionado anteriormente, diversifica en detalle los procesos y crea variedad local de formas y en todo caso, mantiene un sistema geomorfológico muy activo con cambios importantes en intervalos cortos.

Laguna del Ostión presenta paisajes contrastados que incluyen los siguientes elementos: Un macizo volcánico al W (Cerro de S. Martín), que interrumpe el litoral creando bajos y acantilados y pequeños cabos (Punta San Juan, Punta el Campanario) que proporcionan materiales que son redistribuidos por las corrientes costeras. Un paisaje litoral finiterciario con la línea de costa más al interior que delimitaba una bahía orlada de pequeñas elevaciones (algunos centenares de metros), donde descargaban el río Coatzacoalcos por el S y el Mezcalapa y Huazutlán por el W, junto a otros menores.

Dentro de este antiguo Golfo que se encuentra desarrollado durante el cuaternario:

- Colinas de materiales detríticos continentales que forman arcos paralelos y se corresponden con antiguas líneas de costa.

- Numerosas barreras de dunas litorales.
- Dos lagunas litorales en diferente grado de evolución: importante y bien conservada la del W (Ostión) y muy desmantelada la del E (Pajaritos).
- Una amplia extensión de pantanos recorridos por los cauces divagantes que dejan restos de las estructuras geomorfológicas de su anterior actividad: meandros abandonados, levees, islas, etc.

El patrón de drenaje es confuso y variable con el tiempo y el régimen fluvial, a cuya evolución no ha sido ajena la intervención humana.

### Terreno

La zona en la que se asentará el Puerto Industrial de la Laguna del Ostión y el área industrial que inducirá, cubre una región que limita al Norte con el Golfo de México, al Este con el río Coatzacoalcos, al Sur con los ríos Calzadas y su afluente el Huazutlán y al Oeste con el Cerro de San Andrés de Tuxtla y sus estribaciones.

Aproximadamente en el centro de su límite Norte, la costa con el Golfo de México, se sitúa la Laguna del Ostión y en la margen oriental de la Laguna se construirán las dársenas y zonas de asentamiento de las industrias y servicios del Puerto Industrial.

Geográficamente cae dentro de los municipios de Coatzacoalcos, Pajapán y Minatitlán.

Se efectuó un detallado estudio topográfico y geomorfológico de la zona, así como de la geología, seísmos, litología, edafología, clima, hidrología y los aspectos ecológicos más destacados del entorno. En la FIGURA 32 se muestra la topografía de la zona.

En el límite occidental de la zona se alza el cerro de San Andrés de Tuxtla o San Andrés Pajapan que alcanza una altitud de 1.400 m., sobre el nivel del mar. Su ladera este desciende rápidamente hasta llegar tras una inflexión acusada a las márgenes de la Laguna del Ostión. Esta ladera está surcada por numerosas torrenteras y arroyos que recogen las aguas de toda la vertiente y que desaguan en la laguna. Los más notables son el Temoloapán y el Minzapán; tales cauces modelan profundamente el terreno, creando en él barrancos que se superponen a un relieve de base creado por coladas volcánicas relativamente recientes. Es, pues, una zona en evolución sujeta a fuertes erosiones favorecidas por la descomposición de los

basaltos y andesitas que constituyen la litología fundamental y por la **late-**ritización de los suelos.

Hidrológicamente constituye esta zona una subcuenca que es la **princi-**pal alimentación de la Laguna del Ostión.

Más hacia el sur se abandona esta subcuenca hidrológica para alcan-  
zar, tras una suave divisoria o parteaguas, la cuenca del río Huazuntlan,  
el cual, de modo semejante a como hacen los arroyos antes descritos, **pero**  
en mucha mayor escala, modela el relieve de la región que siendo en su  
conjunto una semillanura suavemente ondulada, se ve cortada por el río  
que se encaja en cañones o salta en cascadas de cierta importancia.

Al Este de estas dos zonas y a partir aproximadamente del meridiano  
que corresponde al eje Norte-Sur de La Laguna del Ostión, el relieve cam-  
bia por completo. Desaparecen las estribaciones del Cerro de San Andrés  
de Tuxtla para dar paso a tres bandas topográficas y geomorfológicamen-  
te diferenciadas y que corren sensiblemente en sentido Este-Oeste, es decir,  
aproximadamente paralelas a la costa. Estas tres bandas son, enumeradas  
de Norte a Sur; la línea de playa, las dunas litorales y la llanura de inunda-  
ción o pantanos.

Los pantanos están formados por una extensa ciénaga, semidrenada  
por el río Calzadas, y que se inunda todos los años en mayor o menor  
medida, según sean los excedentes del río Coatzacoalcos, al que sirve de  
embalse regulador. Es un área plana, con leves ondulaciones consecuencia  
de los azolves y arrastres de las corrientes que son a su vez divagantes  
y están modificando continuamente el escaso relieve de la zona. Por ello  
los lucios y las lomas varían de continuo y la red hidrológica es una malla  
en la que los meandros, los espolones, los brazos muertos y las charcas  
alternan confusamente, y quedan enmascarados a menudo por la vegeta-  
ción: popal y tular principalmente o completamente cubiertas por las aguas  
altas en la temporada de las lluvias.

El pantano en su estado actual es un relicto o residuo de una gran zona  
de transgresión marina posterior a la última glaciación Wisconsin que oca-  
sionó la redistribución de los materiales depositados por las corrientes ma-  
rinas y provocó una intensa erosión de los mantos de lava del Cerro de  
San Martín. El resultado de la acción marina fue la creación de la zona  
de dunas del cordón litoral creándose hacia el sur, en el interior, una gran  
depresión inundada y posiblemente comunicada con el mar por dos bocas:  
la Laguna del Ostión y el Coatzacoalcos, que ha ido colmatándose **sucesi-**  
vamente por el relleno aportado por los ríos, cuyo nivel de base **había su-**

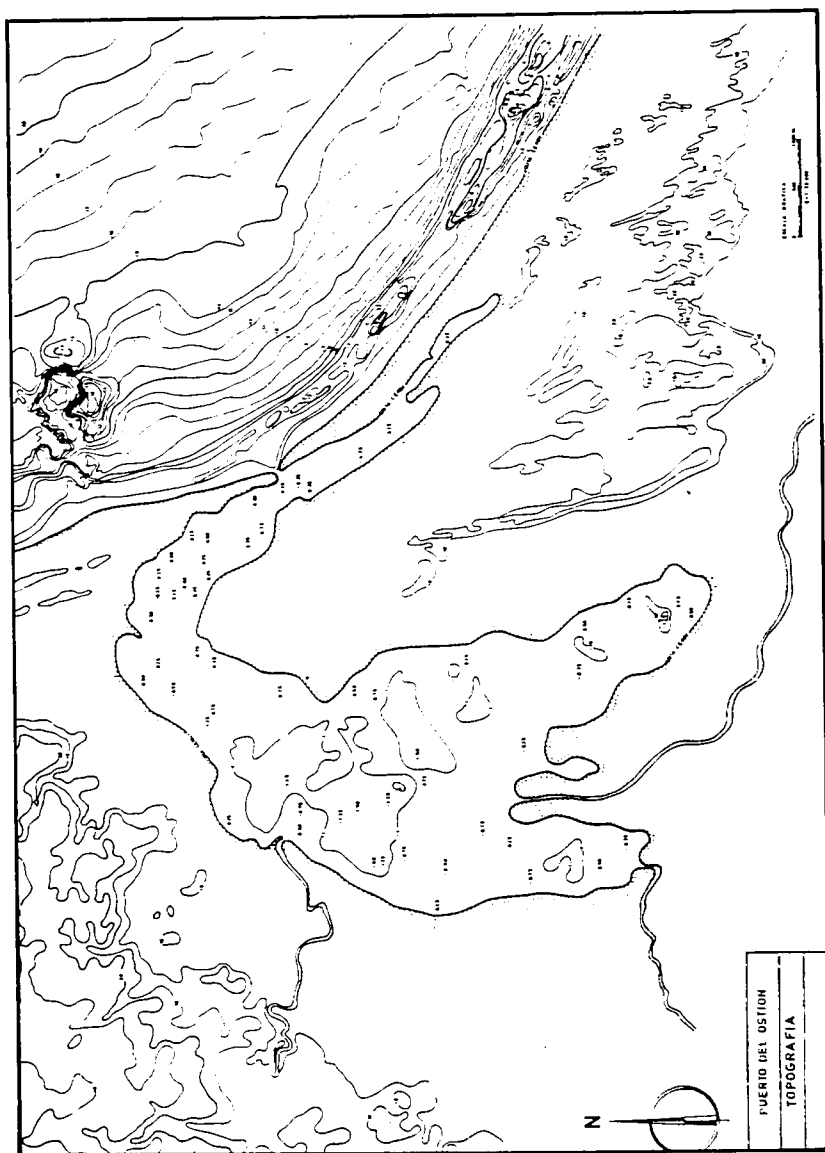


FIGURA 32

bido tras la transgresión y consecuentemente sufrieron un retroceso en sus áreas de sedimentación.

Así pues el pantano es geomorfológicamente joven y en plena evolución hacia su relleno favorecido por la variación estacional del caudal de los ríos que vierten en la depresión, caudal que aumenta considerablemente en la época de las lluvias. Así mismo la acción antropogénica, rellenos por vertido de residuos industriales y urbanos, obras públicas como ferrocarriles, carreteras y aeropuertos, recuperación de tierras para edificación y asentamientos humanos, etc, van ayudando a reducir la extensión de la ciénaga.

En el centro del límite norte de esta región que estamos describiendo se encuentra la Laguna del Ostión, frontera entre las estribaciones del Cerro de San Martín, y la depresión del pantano, separada del mar por el Cordón de dunas litoral. Como se ha señalado anteriormente, la laguna es el resto de un estuario que formaba una de las dos bocas por las que la gran depresión interior, ahora ocupada por el pantano, se comunicaba con el mar. Estuario que resulta cerrado en parte por el cordón de dunas litorales situado al este de la actual laguna. La margen izquierda, por la que recibe los arroyos que descienden del Cerro de San Martín y que constituyen prácticamente su única alimentación por agua dulce, es rocosa, formada por las estribaciones de dicho cerro y sólo modificada por las erosiones y los arrastres de los arroyos.

Hacia el interior la laguna enlaza con el pantano y el emisario principal que recibía de éste ha sido desviado favoreciendo su descarga hacia el río Coatzacoalcos. El sistema hidrológico en esta parte es muy confuso e inestable.

En su margen derecha, la laguna está cerrada por materiales continentales (gravas), que deben corresponder a formaciones estuarinas antiguas de sus emisarios: sobre los mismos se desarrolló, durante la transgresión marina postglacial, un cordón de dunas que ahora se encuentra completamente estabilizado. La barrera costera es el rasgo más original de la Laguna del Ostión.

La masa de agua del Ostión es muy pequeña y fuertemente salobre al estar desviada su principal corriente de alimentación en el pasado.

La morfología de la laguna es peculiar, al encontrarse estrangulada por depósitos continentales cubiertos de dunas, y al haber sido desviada su red de drenaje. La propia comunicación con el mar es desusadamente estrecha a través de un largo canal.

Desde el punto de vista sismológico, el área de estudio se encuentra

en una región de alta inestabilidad cortical y, por tanto, propensa a sufrir macro y microsismos.

La inestabilidad cortical se debe a la presencia cercana de las dos grandes líneas de fracturamiento, la Zacámboxo y la Clarión que atraviesan el estado de Veracruz a la altura del paralelo de 19° y se internan en el Golfo de México, al norte de la ciudad de Coatzacoalcos. Otro fracturamiento, quizás el mas importante para la zona, es el de la probable falla de Tehuantepec que cruza el istmo de norte a sur en una trayectoria paralela e inmediata a la margen izquierda, aguas arriba del río Coatzacoalcos. Es en la trayectoria de este fracturamiento donde se encuentra el mayor número de focos sísmicos importantes, como el epicentro número 96 que se rodea, en un radio de 50 Km, de los epicentros 313, 153 y 102 todos ellos situados al sur de Coatzacoalcos.

En la misma trayectoria, pero ya dentro del Golfo de México y situado ligeramente hacia el noroeste de la ciudad, se tiene el epicentro número 355. Todos ellos han originado movimientos macrosísmicos de intensidades que van de 5 a 7.8 en la escala de Richter, teniendo los focos 96 y 355, profundidades menores a 60 km., y los restantes, mayores de 60 Km.

Se puede observar que los macrosismos han sido poco frecuentes, mientras que los sismos de intensidad media son los más comunes.

Potencialmente debe considerarse este territorio como de alta sismicidad, zona 3 en la costa sísmica de México (Esteve 1970).

Desde el punto de vista litológico la zona se compone esquemáticamente de un área piroclástica al Oeste en la que dominan los basaltos y una mitad Este sensiblemente dividida en zona de arenas y areniscas en el cuadrante Noroeste y fangos arcillosos con alguna arena y gravilla en el cuadrante Sureste. Desde el punto de vista de la influencia de esta componente litológica en el impacto ambiental hay que señalar el efecto que la presencia de una roca dura puede suponer en la realización de las obras, especialmente por las voladuras que pueda requerir y los efectos de compactación que en los materiales sueltos producirá la ejecución de las cimentaciones con la consiguiente desecación por compresión de los acarrees ahora embebidos de agua.

Las condiciones de permeabilidad de estas rocas y sus materiales de descomposición condicionan asimismo el régimen de circulación de las aguas y por consiguiente, el destino final de los contaminantes difusos en ellas.

## Clima

Las estaciones meteorológicas de la zona no son muy numerosas aunque sus registros cubren ya series suficientes como para un conocimiento suficiente del clima. Alguna falta de información se advierte respecto a la zona al oeste de la Laguna del Ostión, donde el gradiente térmico y pluviométrico es fuerte debido a la influencia del Cerro de San Andrés de Tuxtla. Salvo esta circunstancia el clima del resto de la zona es bastante uniforme y conocido y responde a las características tropicales de húmedo y cálido, gobernado por los vientos alisios.

Las estaciones meteorológicas que operan en la región son las siguientes:

Núm.	Nombre	Latitud	Longitud	Elevación
001	Acayucan 1	17° 57'	94° 54'	158 m
002	Acayucan 2	17° 57'	94° 54'	158 m
019	Catemaco	18° 25'	95° 6'	360 m
025	Coatzacoalcos	18° 19'	94° 25'	14 m
029	Coyame	18° 26'	95° 0'	340 m
038	Guazuntlan	18° 9'	94° 48'	180 m
050	Jaltipan	17° 58'	94° 42'	133 m
058	Los Mangos	18° 17'	95° 8'	275 m
066	Minatitlan	17° 59'	94° 32'	64 m
073	Nanchital	18° 4'	94° 24'	19 m
100	S. Andrés Tuxtla	18° 27'	95° 11'	360 m
146	Zapotitlan	18° 33'	94° 46'	4 m

Son bastante completos los registros obtenidos de lluvias y temperaturas. Menos frecuentes los de vientos, y escasos los de insolación y evaporación.

En su conjunto el clima puede clasificarse, de acuerdo con el sistema de Köppen modificado para México por Enriqueta García, como tipo Am, cálido, húmedo (A) con lluvias de verano (m), que es típico de los trópicos lluviosos.

Fundamentalmente el clima está condicionado por el régimen de los vientos alisios virados hacia el sur por la influencia de la barrera que forma la Sierra Madre Oriental que los hace buscar salida para la depresión del sistema de Tehuantepec.

## Temperaturas y soleamiento

Los datos referentes a temperaturas registradas en las estaciones meteorológicas de la zona son los siguientes:

Núm.	Nombre	T (°C)	Tm (mes más frío) (°C)	Tm (mes más cálido) (°C)	Oscil.	Altitud (m)
001	Acayucan 1	24,9	21,9 En.	28,1 May.	6,9	158
002	Acayucan 2	25,1	21,6 En.	28,3 May.	6,7	158
019	Catemaco	24,1	19,8 En.	27,1 May.	7,3	360
025	Coatzacoalcos	25,3	22,1 En.	27,6 May.	5,5	14
029	Coyame	23,4	19,8 En.	25,8 May.	6,0	340
038	Guazuntlan	25,1	21,8 En.	27,7 May.	5,9	180
050	Zaltipan	25,7	22,0 En.	29,1 May.	7,1	133
058	Los Mangos	24,1	20,8 En.	27,3 May.	6,5	275
066	Minatitlan	26,2	23,3 En.	28,8 May.	5,5	64
073	Nanchital	25,2	21,7 En.	27,9 May.	6,9	19
100	S. Andrés	24,5	20,7 En.	28,0 May.	7,3	360
146	Zapotitlan	24,6	22,1 En.	26,4 Ag.	4,3	4

Vemos por este cuadro que las temperaturas medias oscilan entre 23,1 en Coyame a 360 m., de altura y 26,2 en Minatitlan con 64 m., de altura. La temperatura media del mes mas frío varía entre 19,8° en Catemaco y Coyame a 360 y 340 m., respectivamente sobre el nivel del mar y 23,3 en Minatitlan a 64 m., de altura. Las temperaturas medias máximas oscilan desde 29,1° en Zaltipan, 133 m., de altitud y 25,8° en Coyame. Con una sola excepción, Zapotitlan, en la costa, el mes mas frío es enero y el mes más cálido mayo. En rigor la curva anual de la temperatura presen-

ta dos máximas que corresponden al doble paso del sol por el cénit pero debido al retraso de la temperatura con respecto a la insolación el primer máximo se presenta en mayo, como en la mayoría y el segundo en agosto (Zapotitlan). Este segundo máximo queda muy atenuado y llega a desaparecer bajo el efecto de las lluvias estivales, manifestándose solamente como un aplanamiento de la temperatura que desciende rápidamente en el otoño.

La siguiente tabla, que corresponde al observatorio meteorológico de Coatzacoalcos, ilustra sobre la variación térmica a lo largo del año.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Máxima	30,6	32,8	35,9	36,9	34,1	35,7	32,7	33,4	33,3	32,2	31,4	29
Media	22,2	22,8	24,8	26,9	27,9	28,1	27,4	27,9	27,1	25,8	24,4	23
Mínima	15,6	15,7	17,2	19,8	21,9	22,7	23,2	22,4	21,8	20,1	18,0	15

La oscilación anual, medida como diferencia de las temperaturas medias de los meses más cálido y más frío, varía en la zona entre 4,3°C en Zapotitlan situado sobre el litoral y por tanto sujeto al amortiguamiento del mar y 7,3°C en Catemaco y San Andrés, la estación de mayor altitud, 360 m., y por ello la mas extremosa, dentro de la uniformidad característica del clima.

En cuanto a la insolación resulta muy uniforme a lo largo de todo el año puesto que la diferencia de duración entre el día y la noche a la latitud de 18° no excede de dos horas. La nubosidad en la zona es grande, del orden del 80 por 100 de días nublados como consecuencia del régimen de vientos dominantes que proceden del cálido Golfo de México. El resultado de todo ello es que la insolación resulta reducida y que la radiación solar recibida que con cielo despejado varía entre 600 y 920 calorías/cm<sup>2</sup>/Ha., queda reducida en función del espesor del estrato nuboso pudiendo descender la que llega hasta el terreno al 30 por 100 del valor anterior.

#### Precipitaciones

Los datos correspondientes a las estaciones meteorológicas de la región son los siguientes:

Núm.	Nombre	Precipitaciones (mm)	Lluvia invernal (%)	Altitud (m)
001	Acayucan 1	1.703,9	5,9	158
002	Acayucan 2	1.568,8	6,0	158
019	Catemaco	1.953,3	6,3	360
025	Coatzacoalcos	2.726,2	9,6	14
029	Coyame	4.419,8	11,5	340
038	Guazunt.	1.643,1	9,6	180
050	Zaltipan	1.890,1	6,9	133
058	Los Mangos	1.359,6	4,6	275
066	Minatitlan	2.570,3	8,5	64
073	Nanchital	2.822,8	11,3	19
100	S. Andrés T.	1.995,5	4,6	360
146	Zapotitlan	3.216,0	10,6	4

Es muy significativo el examen de estas cifras que muestran como en la zona de la llanura del Golfo, estaciones de Coatzacoalcos, Minatitlan y Nanchital las lluvias exceden de 2.500 mm. anuales, mientras que en la región más al interior, a sotavento del cerro de San Andrés, estaciones de Catemaco, San Andrés, Guazuntlan, Acayucan descienden a valores entre 2.000 y 1.500 y disminuyen aún mas hacia el suroeste en Los Mangos en que se da el mínimo de la región con 1.300 m. Por contra, en la ladera norte, las lluvias orográficas llegan al máximo absoluto de 4.400 mm., en Coyame o al valor de 3.200 en Zapotitlan en la misma costa al noroeste de la Laguna del Ostión.

En general es el mes de octubre el que registra lluvias más copiosas, aunque de hecho llueve todo el año, con un mínimo en invierno y un ligero descenso en medio del verano cuya duración e intensidad depende de varios factores.

#### Vientos

El régimen de vientos de la región es el que resulta del dominio de los alisios bajo el influjo del anticiclón de las Azores. Durante todo el año dominan los vientos del norte, que rolan al noroeste en los meses de mayo

y agosto. Prácticamente no soplan nunca los cuadrantes comprendidos entre noroeste y sureste. Es decir que: en la zona objeto del estudio, los vientos tienden a barrer la atmósfera hacia el octante SW-S. Las máximas velocidades registradas corresponden a vientos del norte con intensidades de 130 km/hora. Los más favorables desde el punto de vista del transporte de contaminantes a áreas pobladas son las del noroeste que han llegado a alcanzar 110 km/hora. Las velocidades medias son del orden 12 km/hora en primavera y verano y 18 km/hora en otoño e invierno.

Durante el verano y principios del otoño se originan en los mares cálidos que rodean a México las perturbaciones atmosféricas conocidas como ciclones tropicales. Los ciclones que afectan al estado de Veracruz son los que tienen su origen en el Mar de las Antillas, los que, al pasar sobre las aguas cálidas del Golfo de México, se cargan de humedad aumentando así su intensidad.

El efecto de los ciclones se pone de manifiesto en el aumento de la precipitación a fines de la época veraniega, y, de hecho, principalmente el mes de septiembre. Los lugares que tienen influencia de ciclones presentan su máximo de precipitación precisamente en este mes.

#### *Corrientes y mareas*

La circulación general del Golfo de México se configura en una corriente que gira en el sentido de las agujas del reloj bajo la influencia de los vientos alisios. Esta circulación general resulta modificada por el influjo de la plataforma costera y la aceleración de Coriolis. La plataforma costera considerablemente ancha al oeste de la península de Yucatán, en la margen oriental de la bahía de Campeche, se estrecha notablemente a lo largo de la costa frente a los Tuxtlas. La aceleración de Coriolis, como es sabido tiende a desviar hacia la derecha, en el hemisferio norte, la corriente principal. A estos dos factores se une la topografía de la costa.

Como consecuencia de estos factores concurrentes, la corriente general se desvía hacia el norte y se crea una revesa local, que alcanza aproximadamente desde el citado cabo de S. Juan hasta la barra del río Coatzacoalcos, en sentido inverso, es decir, que recorre la costa en el sentido Ostión-Coatzacoalcos.

El simple examen de la barra y bocana de la Laguna del Ostión confirman la presencia de esta corriente local que se ve reforzada cuando soplan los vientos de componente norte.

Como es natural éste régimen de corrientes responde al de los vientos.

Así como en el Golfo de México los alisios, aún no modificados por la Sierra Madre Oriental soplan con un fuerte componente del este, la corriente gira en este sentido, desde el este, en su rama meridional. Los alisios, ante la barrera de la Sierra Madre y localmente de la Sierra de los Tuxtlas rolan hacia el sur, buscando escape por la depresión del Istmo de Tehuantepec; paralelamente la corriente general se divide en una pequeña rama que al principio hacia el sur (costa al norte de la Laguna del Ostión) y luego hacia el oeste (banco de Coatzacoalcos) circula a lo largo de la costa. La velocidad de esta corriente es muy variable por estar gobernada por los vientos que si bien son bastante constantes en dirección, no lo son en intensidad.

En cuanto a las mareas son las siguientes:

Pleamar máxima registrada	.....0,813 m
Nivel de pleamar media	.....0,191 m
Nivel media del mar	.....0,000 m
Nivel media de marea	.....0,039 m
Nivel de bajamar media	.....0,265 m
Bajamar mínima registrada	.....0,772 m

Lo que supone una carrera media de marea de 0,456 m., y una carrera máxima de 1,585 m., cifras no muy altas pero que condicionan básicamente el comportamiento del desagüe de la Laguna del Ostión y de las dársenas portuarias. Buena prueba de ello es que, en tramo tan alto como el del río Calzadas a su cruce con la carretera nueva de Coatzacoalcos a Minatitlán, la carrera diaria media de marea es de 30 cm. Sobre el río Coatzacoalcos se deja sentir hasta Minatitlán.

Los datos de que se dispone relativos a evaporación son muy limitados. Solamente se tienen los correspondientes a Nanchital y a Hidalgotitlán que son muy semejantes.

Los datos de evaporación correspondientes a la estación de Nanchital son los siguientes:

Máxima mensual	213,9 mm
Mínima mensual	30,5 mm
Media anual	1.255,3 mm
Máxima anual	1.402,2 mm (1957)
Mínima anual	1.105,9 mm (1964)

La variación mensual se refleja en esta tabla:

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
60	70	106	135	157	135	116	120	107	94	73	62

### Hidrología

La hidrología del río Coatzacoalcos y sus principales afluentes está muy bien estudiada y hay datos abundantes y fiables sobre ella. No es tan conocida la de los ríos y arroyos de la región que estudiamos, en parte por su escasa importancia, en parte por lo confuso de la red hidrológica en la zona del pantano, donde las corrientes son variables, divagantes y anastomosadas.

En el estudio se describe, orientado hacia las condiciones ambientales que regulan los impactos, la red hidrológica tanto superficial como subterránea, las escorrentías reguladas por la naturaleza física y vegetal de las cuencas y como consecuencia de ambas se establece el balance hídrico.

Seguidamente y una vez examinados estos aspectos cuantitativos se pasa al estudio de los factores cualitativos revisando la calidad de las aguas, una vez más superficiales y subterráneas, así como su estado actual o situación cero desde los puntos de vista tanto químico como sanitario y biológico.

#### Red hidrológica

Al noroeste de la Laguna del Ostión, entre la cuenca que alimenta a la misma y el mar se extiende una subcuenca por la que corren pequeños arroyos que desaguan directamente al océano entre la punta El Campanario y la boca de la laguna. El parteaguas de esta cuenca con la de la laguna, esta aproximadamente en el pueblo de Pajapan y en ella se halla el Caserío de San Juan Volador. Su extensión total es de unos 70 km<sup>2</sup>.

Al suroeste de la laguna y a lo largo de la costa hay otra pequeña subcuenca que vierte al mar los escasos excedentes que no se filtran por las dunas o la playa; mide más de 30 km<sup>2</sup> y llega hasta Coatzacoalcos; al sur limita con el cordón de dunas lateral.

La cuenca propia de la Laguna del Ostión, que antiguamente incluía el río Huazuntlan, en la actualidad mide unos 220 km<sup>2</sup> y se extiende alrededor de la laguna por su lado oeste hasta el Cerro de San Martín y

por el sur de la misma hasta el viejo Huazuntlan y el parteaguas, mal definido, con el tramo alto del Calzadas o Chacalapa. Los principales arroyos que surcan esta cuenca en la vertiente de San Martín son, de norte a sur, el Minzapan, el Pajapan, y el mayor de todos el Temoloapan. Por el sur recibe el viejo Huazuntlan que drena parcialmente a la zona pantanosa en los alrededores de la Laguna Salada.

El resto de la zona evacúa las aguas hacia el río Coatzacoalcos a través del río Calzadas, que a su vez se forma por la unión del río Huazuntlan y el río Tilapa, o Mezcalapa.

La cuenca del Huazuntlan mide 343 km<sup>2</sup> y la del Tilapa 651 km<sup>2</sup>. La captura del alto Huazuntlan por el Calzadas se produce en las proximidades de su confluencia con el Tilapa. Primitivamente el Calzadas y el Tilapa eran un sólo río que capturaron el Huazuntlan, cerca de la aldea de Minzapan.

El río Calzadas, formado, como se ha dicho, por el Tilapa y el capturado alto Huazuntlan corre hacia el Coatzacoalcos drenando una cuenca de 317 km<sup>2</sup> entre la confluencia Tilapa-Huazuntlan y su desembocadura. Esta cuenca es, fundamentalmente, el pantano descrito como cuarta unidad geomorfológica. Aproximadamente a la mitad de su recorrido el río se ensancha formando la Laguna del Tepache a la que desagua también un cauce que discurre en sentido sur norte llamado río Colorado.

El tramo del Calzadas, entre la confluencia del Huazuntlan y el Tilapa que se forma y la Laguna del Tepache recibe también el nombre de Chacalapa. En este tramo y a unos seis kilómetros de su origen recibe por la margen derecha las aguas de un canal artificial que viene del viejo cauce del Huazuntlan y que capta por segunda vez las aguas de éste y drena parcialmente el pantano que se extiende alrededor de la Laguna Salada situada al sureste de la Laguna del Ostión.

La cuenca del Calzadas es muy horizontal y, como se ha dicho, formada por el pantano. Por ello la red hidrográfica en su entorno es confusa y divagante, en particular en el tramo comprendido entre la Laguna del Ostión y el estrechamiento que en el pantano produce el lomerío al sur de El Cedro hasta los Barrancos por el cual discurren el ferrocarril y la antigua carretera de Coatzacoalcos a Minatitlan. En este estrechamiento, donde están los puentes sobre el Calzadas de dicha vía de transporte se produce una cierta discontinuidad geomorfológica del pantano cortado por estas colinas que citamos. Es preciso señalar que en la ladera oeste de estas lomas, cerca del Calzadas están los pozos de Canticas que abastecen a la ciudad de Coatzacoalcos.

Muy probablemente la laguna y la zona de pantanos son el residuo

de un estuario de los ríos Huazuntlan y Coatzacoalcos, desaguando el primero hacia lo que ahora es la Laguna del Ostión y el segundo por su actual cauce; la barrera formada por el cordón de dunas cerró éste creándose una gran área inundada interior que se ha segregado luego en la Laguna del Ostión, a la que ya no vertía el río Huazuntlán, desviado hacia el Calzadas y la zona de pantanos, drenada por éste río. Se nota que la barrera formada por el cordón litoral obligó a un represamiento de las aguas que fluyen normalmente por el cauce del eje principal en dirección sur a norte. Este represamiento formó un área de inundación que desagua por un cuello de botella al mar. Probablemente en el pasado hubo una continuidad en el área inundada; sin embargo, por los procesos de sedimentación natural, se formaron bancos interiores que superaron localmente el nivel de anegamiento y dieron lugar a cuerpos de agua parálisos aislados y de tamaño variable, que mantuvieron una alimentación continua y pudieron generar a su vez caños que desaguan perpendiculares al dren principal, como el río Calzadas que se alimenta de la Laguna del Tepache. La escasa pendiente, hace que los ríos tributarios tengan poca eficiencia hidrodinámica y entonces busquen salida a través de los bancos aluviales por las vaguadas naturales, de ahí que muestren una gran sinuosidad en el cauce. En general, toda la llanura es profusa en caños cegados, meandros cerrados, espolones, lagunetas en forma de media luna, alargadas, irregulares, etc., todas formas características de una zona de inundación fluvial.

En todas estas cuencas no existe más estación hidrotimétrica que la de Huazuntlan, que solamente funcionó durante los años 1953-54-55 en los cuales los escurrimientos anuales medidos fueron respectivamente de 211,0 223,3 y 228,0 millones de metros cúbicos. La cuenca receptora aguas arriba de esta estación mide 138 km<sup>2</sup> con lo cual la aportación media en metros cúbicos por segundo y kilómetro cuadrado resultó ser de 1,6.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año/km<sup>2</sup> o, lo que es equivalente, 51 l/seg., y km<sup>2</sup>.

El gasto medio del río fue de 7 m<sup>3</sup>/seg., y los máximos y mínimos registrados en el período fueron respectivamente 328 m<sup>3</sup>/seg., el 17 de agosto de 1952 y 1,38 m<sup>3</sup>/seg., el 27 de mayo de 1954.

#### *Aguas subterráneas*

Las unidades hidroestratigráficas que componen la zona objeto de este estudio están formadas por materiales volcánicos, sedimentos recientes y sedimentos arenosos.

### CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES RIOS DEL AREA

#### *Río Coatzacoalcos (periodo 1953 - 1969)*

Cuenca .....	9.224 km <sup>2</sup>
Volumen medio anual .	12.902 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volumen unitario anual ...	1.398,5 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>
Caudal medio anual .....	409,1 m <sup>3</sup> /seg.
Caudales extremos .....	7.061 (24 sep. 1963) 20 (31 mayo 1968)

#### *Río Calzadas - Huazuntlan (periodo 1952 - 1956)*

Cuenca .....	138 Km <sup>2</sup>
Volumen medio anual .....	220 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Volumen unitario anual ...	1.600 m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>
Caudal medio anual .....	7,0 m <sup>3</sup> /seg.
Caudales extremos .....	328 (17 ag. 1952) 1,38 (27 mar. 1954)

En general en toda la zona el contacto de agua dulce - agua salada se encuentra a profundidades mayores de 300 m. En niveles profundos el frente salino avanza con el actual nivel de extracción a razón de 60 m. por año.

En el acuífero de la zona de Canticas se explotan cinco pozos, parcialmente fuera de servicio que aportan 180 l/seg. En el mismo acuífero operan otras bombas que abastecen a la industria Guanos y Fertilizantes. Estas extracciones son muy limitadas y difícilmente ampliables.

En general el sistema de aguas subterráneas es muy pobre, los únicos acuíferos importantes están en la unidad de sedimentos arenosos, los cuales se recogen por las corrientes superficiales. Las lutitas forman la cubeta impermeable de los acuíferos.

Todos estos acuíferos, alimentados por la recarga de las aguas de superficie, son muy frágiles desde el punto de vista de su posible contaminación. Si hasta el momento presente se mantienen razonablemente limpias es debido a las bajas permeabilidades y a la elevada pluviosidad de la zona que provoca un fuerte lavado, arrastre y dilución de las aguas superficiales.

*Escorrentías*

Al describir la red hidrológica se había reseñado que, con arreglo a los escasos datos de aforos de la estación hidrotimétrica Huazuntlan, la aportación media de la cuenca alta de este río era de 1,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> y año.

Por otra parte, la precipitación media registrada en la estación meteorológica de Huazuntlan es de 1.600 mm anuales. Resulta así que, aparentemente, el coeficiente de escorrentía es la unidad. No parece posible tan alto valor y suponemos que debido a que el gradiente pluviométrico es muy elevado, como consecuencia de la influencia del próximo Cerro de San Andrés, la lluvia media en la cuenca es superior a los 1.600 mm de la estación meteorológica que está en la parte más baja de la misma, y que a medida que se asciende hacia el nacimiento del río ha de aumentar. En Coyame, a la cota 340 se registran 4.400 mm/año; sin llegar a tan alto valor es razonable suponer un valor promedio de 2.500 mm/año, cifra que corresponde a Coatzacoalcos o Minatitlan y que puede considerarse como medio de la región. Con esta hipótesis el coeficiente de escorrentías quedaría en 0,64 que parece razonable para las pendientes, litología y cobertura vegetal de la zona, habida cuenta de la intensidad y concentración de las lluvias estivales.

*Balance hídrico*

En el río Calzadas y sus afluentes es prácticamente imposible establecer un balance hidráulico. Los datos de aforos son insuficientes para ello y además la cuenca baja se encuentra sometida a las inundaciones derivadas de las aguas altas del río Coatzacoalcos. Aún más: la influencia de la marea se deja sentir aunque sea levemente en el último tramo del río. En tales condiciones sólo puede aventurarse que el Calzadas por su propia aportación y la de sus afluentes que totalizan una cuenca de 1.311 km<sup>2</sup> debe aportar al pantano y al río Coatzacoalcos unos 2.000.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año de los cuales se estima que se evaporan en la zona pantanosa aproximadamente un 35 por 100 y el resto fluye hacia el mar, con un gasto medio de unos 40 m<sup>3</sup>/seg.

En la laguna, con una cuenca de 220 km<sup>2</sup>, la aportación total anual sería del orden de 350.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/año de los cuales se estima, por los coeficientes de evaporación descritos anteriormente, y la estructura del plano de agua y cobertura vegetal que se evapore el 25 por 100, se infiltre hacia el mar el 30 por 100 y un 45 por 100 restante constituya el flujo superficial, que equivale a unos 5 m<sup>3</sup>/seg.

Este balance vendrá modificado por las aportaciones de abastecimiento al complejo industrial a construir.

**Calidad de las aguas***Aguas subterráneas*

Los resultados de los análisis de aguas subterráneas de la zona entre la Laguna del Ostión y el río Calzadas en su tramo superior, zona en la que se asentará el futuro Puerto Industrial y que por ello será lo que pueda presentar alguna alteración de los mantos freáticos, han sido los siguientes:

*Aniones:*

Cl <sup>-</sup>	15 mg/l
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	85 mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	5 mg/l

*Cationes:*

Na <sup>+</sup>	20 mg/l
Mg <sup>++</sup>	6 mg/l
Ca <sup>++</sup>	13 mg/l

El correspondiente balance estequiométrico se establece como sigue:

<i>Iones</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Valencia</i>	<i>mg/meq.</i>	<i>mg/l</i>	<i>meq/l</i>
Cl <sup>-</sup>	35	1	35	15	0,42
CO <sub>3</sub> N <sup>-</sup>	61	1	61	85	1,38
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	96	2	48	5	0,10
Total aniones					2,00
<i>Iones</i>	<i>Peso molecular</i>	<i>Valencia</i>	<i>mg/meq.</i>	<i>mg/l</i>	<i>meq/l.</i>
Na <sup>+</sup>	23	1	23	20	0,87
Mg <sup>++</sup>	24,2	2	12,1	6	0,50
Ca <sup>++</sup>	40	2	20	13	0,65
Total cationes					2,02

y resulta suficientemente concordante. Denotan estos análisis que los mantos freáticos de la zona están bastante limpios de contaminación y de infiltración salina del agua del mar. Así se deduce por un lado, de la baja concentración de sulfatos, que estarían presentes si el yeso procedente de los vertidos de las fábricas de fertilizantes pasara al subálveo y de la escasez de sodios y cloruros que si hubiera salinización por el mar serían mucho mas altos.

Por otra parte la proporción calcio/magnesio que es de 2, es la normal en aguas continentales lo que excluye una intrusión marina puesto que en el mar dicha proporción es menor de 0,5, es decir, que en las aguas continentales predomina el calcio, que dobla el contenido de magnesio y en las marinas sucede justamente lo inverso.

La dureza de estas aguas es muy reducida no alcanzando los 6° franceses de dureza total, o expresada en  $\text{CO}_3\text{Ca}$  de 0,67 ppm. La dureza permanente media es de 1,5° franceses.

Son, pues, aguas de una calidad muy aceptable.

### Laguna

En cuanto a las aguas superficiales se observa en la laguna una fuerte estratificación con gran salinidad en la capa inferior. Los resultados promedios referentes a los principales cationes son, en mg/l:

	<i>Superficie</i>	<i>Fondo</i>	<i>Agua de mar</i>
Na <sup>+</sup>	2.500	5.310	10.500
Ca <sup>++</sup>	114	304	400
Mg <sup>++</sup>	295	590	1.350

resulta, pues, que el agua del fondo es aproximadamente una mezcla al 50 por 100 de agua dulce y de mar, mientras que la de superficie tiene alrededor del 75 por 100 de agua dulce y 25 por 100 de mar.

Análogamente en los aniones dominan los cloruros, siguiendo en proporción los sulfatos.

Se han hecho asimismo determinaciones de metales pesados con los siguientes resultados:

	<i>Agua de superficie</i> <i>p. p. m.</i>	<i>Agua de fondo</i> <i>p. p. m.</i>
Hg	< 0,10	< 0,10
Fe	< 0,10	< 0,10
Mo	< 0,10	< 0,10
Mn	< 0,10	< 0,10
Pb	0,60	1,00
Zn	0,55	0,85

Las mediciones de sustancias extraíbles al cloroformo han dado los siguientes resultados:

Agua de superficie	30 mg/l
Agua de fondo	50 mg/l

y para los fenoles y cianuros en ambos casos y tanto para superficie como para fondo, la concentración medida ha sido inferior a 0,02 mg/l.

Solamente resulta algo elevado el contenido en plomo, pero sin llegar a límites alarmantes. El cinc, aunque mas alto que otros metales, cae incluso dentro de las normas para el agua potable como, por supuesto, ocurre con los otros metales pesados.

### Ríos

La calidad de las aguas superficiales en los ríos de la región varía mucho en función de las cargas contaminantes que reciben y de sus propios caudales que aseguran mayor o menor dilución. Así, por ejemplo, el arroyo Teape es un colector de aguas residuales con una calidad ínfima. El propio río Calzadas, que drena la zona en la que se asentará el Puerto Industrial varía mucho y su tramo alto, antes del cruce con el ferrocarril y la carretera vieja de Coatzacoalcas a Minatitlan no está prácticamente contaminado mientras que más abajo y sobre todo a partir de la Laguna del Tepache, presenta degradaciones locales importantes que luego, afortunadamente, se neutralizan entre sí, se diluyen o se tamponan.

Nos referimos en lo que sigue al tramo superior del Calzadas y sus afluentes, así como a las pequeñas lagunas de la zona colindante, que se

rán las masas de agua afectadas por el proyecto y por ello las que merecen descripción de su estado actual o situación cero.

En general el oxígeno disuelto se presenta en niveles satisfactorios, con valores entre 4 y 6 mg/l. La actividad fotosintética es muy importante porque el plancton es rico hasta el punto de que la transparencia, medida con disco de secchi es muy baja, del orden de 0,25 m. No hay apreciable estratificación porque en este tramo el río circula en régimen lótico.

La alcalinidad varía en el rango 27-42 mg/l expresada en carbonato cálcico. Son valores bajos, congruentes con la litología de la cuenca, formada principalmente por rocas piroplásticas. Al mismo condicionante responden los contenidos en calcio que varían de 26 a 44 mg/l.

Los sulfatos medidos en  $\text{SO}_4^{2-}$  están alrededor de 28 a 30 mg/l, valor también bajo.

En cuanto a los nutrientes se han encontrado nitratos entre 2,2 y 5,2 mg/l, con mayor abundancia en el entorno 3,3 y los fosfatos, expresados en  $\text{PO}_4$  varían de 1,5 a 5 mg/l agrupados alrededor de 3 mg/l.

Esta abundancia de nutrientes y la elevada temperatura media, aseguran la elevada productividad biológica de la que se hizo mención anteriormente.

En el Estudio General se indican todos los resultados de los análisis de aguas efectuados.

### Medio biológico. Ecología

El estudio de la ecología de la zona recibió una atención muy destacada. No es posible describir su contenido, de forma breve, porque se trata de ecosistemas complejos, muy modificados, de muy alta productividad, con algunos espacios bellísimos y una vegetación exuberante como corresponde a las zonas tropicales, especialmente los manglares de la Laguna del Ostión y los asociados a la red de drenaje, así como la vegetación de los pantanos de Coatzacoalcos.

El aspecto de los pantanos de Coatzacoalcos es de un sistema senil en un grado avanzado de relleno, en su mayor parte debido a que el aporte sedimentario de los ríos ha sido muy considerable. Los tipos diversos de vegetación que aparecen están relacionados con procesos de control ambiental (profundidad del agua, nutrientes, salinidad, turbulencia) pero sobre todo, con la intervención humana. Los cultivos y pastizales, la explotación de bosque en suelos emergidos y recientemente el relleno y contaminación industrial y la ocupación para obras públicas, desarrollos industriales, urbanos, etc.

El mosaico de facies en los pantanos está controlado también a gran distancia por las modificaciones en mantos freáticos y redes de drenaje causadas por contaminación de acuíferos y aguas superficiales y desvío de los patrones de circulación de las aguas de superficie por las obras públicas. La carretera nueva Coatzacoalcos-Minatitlán y el desvío del río Huautlan hacia el río Calzadas son dos ejemplos importantes de tales intervenciones sobre el drenaje. Las descargas al pantano de Santa Alejandrina desde las factorías de fertilizantes y refinería de Minatitlán constituyen efectos muy llamativos de contaminación en los pantanos del área.

En el CUADRO X elaborado por el equipo de ecólogos que intervinieron en el trabajo, bajo la dirección del profesor García Novo, se indican las diferentes unidades del territorio que constituyen estos ecosistemas, sus características, las modificaciones principales que se han producido y las acciones a que están sometidos.

En los ejemplos descritos se hace resaltar la profunda transformación que los sistemas ecológicos de la zona han sufrido por la intervención humana. Salvo en el cerro de San Martín, no quedan sistemas estables que no se encuentren degradados. Aún las dunas y ríos que son sistemas dinámicos y poco estructurados capaces de una respuesta y regeneración más rápida, están contaminados y eutrofizados.

Los pantanos y bosques galería presentan un aspecto siempre espectacular con intensa productividad y elevada biomasa, pero su diversidad se hace menor y sus elementos de baja tasa de renovación, más persistentes y organizadores del espacio, se echan de menos.

Los bosques patentizan su regresión: casi están ausentes.

Por su parte el hombre ha desarrollado tres tipos de ecosistemas nuevos, que no existían: los agroecosistemas, en sus modalidades de pastizales para ganadería, cultivos herbáceos y leñosos; las conurbaciones y los asentamientos industriales.

En el estudio ecológico se han analizado detenidamente los siguientes factores y aspectos de la biocenosis que, por su extensión, no es posible describir:

#### *Biocenosis. Flora y fauna*

- Descripción del complejo ambiental Laguna del Ostión.
- Funcionamiento de la Laguna del Ostión.
- El manglar.
- Los manglares del Golfo de México.

CUADRO X  
Principales unidades del territorio

Unidad	Características	Rasgos diferenciales debidos a intervención humana	Intervención humana
R. Coatzacoalcos	Ecosistema lótico tropical de tramo final. Aguas eutrofas, ricas en m.o. Productividad escasa. Materia orgánica y sedimentos en suspensión.	Eutrofia alta. Contaminación por petróleo, metales pesados. Contaminación bacteriana. Reducción de fauna.	Descarga de aguas negras, vertidos urbanos e industriales. Destrucción del bosque galería.
R. Calzadas	E. lótico tropical. Procedente del drenaje de pantanos y zonas endorreicas. Aguas eutrofas ricas en m.o. Productividad media. Escasos sedimentos en suspensión. Denso bosque galería que pasa a manglar en la desembocadura.	Eutrofia muy alta por contaminación industrial. Reducción de fauna.	Vertidos químicos ( $SO_4^{2-}$ , $PO_4H^{2-}$ , $Ca^{2+}$ , $NH_4^+$ ). Pesca.
Laguna Ostión	E. litoral formando mosaico con masas fluviales y marinas separadas por picnoclina y espacialmente, en una laguna de cuenco somero 2-3 m con emisarios (R. Huazatlan) comunicación franca al mar. Manglares densos en centro y orillas. Gran diferenciación de nichos en fondos y aguas con sp. continentales y marinas en plancton, filtradores y peces.	Disminución de caudales en los emisarios por ser desviados. Reducción fauna, especialmente aves y mamíferos. Manglares explotados.	Pesca y marisqueo. Recreo.
Laguna Pajaritos	E. litoral en comunicación franca con el río (Coatzacoalcos) y el mar (mareas). Forma parte de un puerto industrial.	Comunicación muy amplia con R. Coatzacoalcos por dragado del canal. Intensa contaminación de productos químicos. Productividad y fauna escasas.	Dragado. Vertido de productos químicos y petróleo.

CUADRO X (continuación)

Unidad	Características	Rastos diferenciales debidos a intervención humana	Intervención humana
Pantanos	Mosaico de e. tropicales de aguas continentales someras. Muy variables con su grado de contaminación y alteración de circulación de agua.	Simplificada su vegetación y fauna. A veces incrementada su productividad por contaminación. Invasiones de <i>Eichornia</i> , <i>Pistia</i> , <i>Salvinia</i> . Localmente rellenos o contaminados de petróleo y productos químicos.	Vertidos de productos químicos inútiles o residuos (petróleo, yesos ácidos, vertidos urbanos). Intensos rellenos. Interrupción de red de drenaje con drenes, carreteras, etc.
Dunas	Mosaico de e. tropicales sobre sustrato arenoso de persistencia variable de acuerdo con estabilidad del sustrato. Incluyen vegetación de playa y su paso a bosque tropical maduro y etapas de regresión a matorral y pastizal o cultivos.	Desaparición de etapas maduras con gran reducción de arbolado y transformación en cultivos o potreros. En los primeros es frecuente el incremento de cocotero. En los segundos puede producirse intensa mineralización del suelo con pérdida de fertilidad y posterior erosión.	Transformación para cultivos y pastizales (ganado). Ocupación de antiguas dunas para desarrollos urbanísticos, industriales, obras públicas, vertederos, extracción de áridos.
Bosque	Manchas aisladas de especies nobles del bosque tropical, refugiadas en lindes, zonas de mal acceso por su topografía (Cerro San Martín) o encharcamiento (entorno de El Ostión). Transformado en cultivos o abandonado a regeneración secundaria.	Muy pobre en zonas cultivadas en términos de diversidad, biomasa, flora y fauna. En el resto se conservan rodales ocasionales de composición semejante, pero estructura diferente. Árboles poco longevos que corresponden a etapas se-rales.	Transformación para cultivos por medio de roza, incendio o ambos. La ocupación industrial, urbana o de obras públicas implica la destrucción completa del recurso.

- El manglar de la Laguna del Ostión.
- Manglares asociados a la red de drenaje.
- Otras formaciones de bosque.
- El cordón de dunas. Los pantanos.
  - El sistema de dunas costeras.
  - El funcionamiento de los pantanos.
  - La vegetación de pantanos.
  - Pantanos de Coatzacoalcos.
- Datos de Fitoplancton y zooplancton.
- Interdependencia de los sistemas.
  - Relaciones entre subsistemas.
  - Red de drenaje superficial.
  - Pantanos.
  - Dunas.
  - Laguna del Ostión.
  - Litoral.
- Interdependencia entre sectores.

### Medio humano. Aspectos socioeconómicos

Uno de los aspectos que hay que resaltar es la estrecha relación existente en la Conurbación Coatzacoalcos-Minatitlán-Cosoleacaque con el petróleo, es decir, que el motor del desarrollo de esta zona es fundamentalmente la industria petrolífera y petroquímica.

A principios de este siglo la región objeto de estudio, desembocadura del río Coatzacoalcos y su entorno, era una zona de agricultura tropical, de ganadería extensiva y de aprovechamiento del monte.

Con el descubrimiento del petróleo en la región, su explotación masiva y la instalación de la Refinería de Minatitlán, en 1908, se inició una nueva etapa de actividad que ha ido creciendo de forma muy rápida. El puerto de Coatzacoalcos se ha ido convirtiendo en el corazón de la zona y actualmente es uno de los puertos más importantes de México ya que, en realidad, se trata de un complejo portuario que comprende los puertos Coatza-

coalcos, Pajaritos, Nanchital y Minatitlán. Este conjunto portuario va a ser enormemente potenciado por el nuevo Puerto del Ostión.

La conurbación Coatzacoalcos-Minatitlán-Cosoleacaque puede definirse, en realidad, como un gran complejo portuario petroquímico-industrial.

De los municipios que componen esta conurbación hay cuatro (Coatzacoalcos, Minatitlán, Cosoleacaque y las Choapas) que tienen unos crecimientos demográficos enormes. Su crecimiento es doble e incluso el triple de la tasa de crecimiento general para el país, lo que significa que son municipios de fuerte atracción de población inmigrante.

Son municipios urbanos y suburbanos, por lo que la población atraída tiende a asentarse en ellos.

Esta población de 400.000 habitantes, tiene unas características propias. Posiblemente la más destacada es que se trata de una población joven, con una base muy amplia, ya que casi la mitad (entre el 45 y 49 por 100) es menor de 14 años, esto permite establecer que la tasa de crecimiento futura será también muy alta.

La estructura de la población es la de una región que recibe una fuerte inmigración. Al analizar las pirámides de edades se aprecia la ancha base que conforman los jóvenes y los agudos vértices que configuran las cifras de los mayores.

La población potencialmente reproductiva (hombres y mujeres) es también muy elevada.

Las migraciones son muy altas y en una buena parte puede convertirse en población marginal, una vez que haya participado en los trabajos de construcción del puerto industrial, aeropuerto, carreteras, viviendas y otras obras de infraestructura y equipamiento colectivo.

Otra característica es la elevada existencia de asentamientos precarios en la región, que posiblemente aumentarán.

Las previsiones de crecimiento demográfico de la región metropolitana Coatzacoalcos-Minatitlán-Cosoleacaque para finales de siglo son muy altas, ya que se ha estimado una población en el año 2.000 de cerca de 1.300.000 habitantes.

Esta tasa de crecimiento tan elevada y rápida puede originar unos impactos altísimos en la zona debido a los asentamientos humanos desordenados y a los conflictos sociales que este rápido crecimiento urbano puede crear.

Sin embargo, el área objeto de este estudio, que comprende los terrenos en los que se instalará el Puerto Industrial de la Laguna del Ostión y su entorno próximo, en un radio de unos diez kilómetros, está muy escasamente poblada. Ningún pueblo ni ciudad caen en la zona sino solamente

algunas agrupaciones de unas pocas jalapas en las inmediaciones de la laguna, habitadas por pescadores que explotan los recursos de la misma, principalmente la jaiba y el ostión; citaremos Las Barrillas, El Ostional y El Moral y El Varadero como más destacables.

Alguna casa aislada en los potreros o explotaciones agrícolas circundantes añaden poco más a tan limitados asentamientos.

Otros aspectos socioeconómicos dignos de destacar son los siguientes:

- Vivienda.
- Infraestructura sanitaria.
- Servicios comunitarios y equipamiento urbano.
- Empleo.

El empleo es un gran impacto y enormemente positivo.

El Puerto Industrial del Ostión generará nuevos miles de empleos, tanto por puestos de trabajo directo como, y sobre todo, por los inducidos.

En cambio la disponibilidad de las viviendas necesarias para toda esta población es uno de los cuellos de botella del desarrollo de la región y posiblemente el punto débil del importantísimo programa de Puertos Industriales, así como la infraestructura sanitaria y el equipamiento comunitario.

La presión demográfica futura ejercerá una fuerte demanda de terrenos para la zona habitacional, de viviendas, de servicios y equipamiento y todo ello, a una velocidad a la que resulta difícil dar respuesta.

La gran oferta de empleo que va a producir el Puerto Industrial y las industrias y actividades inducidas moverá fuertes corrientes de población, que posiblemente se asentarán en las zonas periféricas de Coatzacoalcos, deteriorando más los aspectos de calidad de vida y condiciones ambientales de ese municipio.

Sin embargo, las posibilidades que brinda la actual distribución poblacional son grandes para ordenar el territorio. Desde este punto de vista y en tal sentido parece que una política de nuevos asentamientos, bien planificados y dotados de una infraestructura adecuada en las proximidades, pero no en las inmediaciones del futuro puerto, sería la mayor garantía de un esperanzador futuro. En tal sentido la zona comprendida entre Pa-japan, el mar y la Laguna, ofrece óptimas condiciones; en ella existen posibilidades de abastecimiento de agua y facilidades para la evacuación de las residuales, hay terrenos firmes, ligeramente elevados sobre el nivel del mar, aireados y sanos, existe la posibilidad de zonas verdes y áreas recrea-

cionales como la propia Laguna y la playa y no existirían dificultades para establecer una red de comunicaciones cómoda con los núcleos actuales, sobre los que pesan ya demasiados problemas.

La población migrante demandará empleos, habitación, servicios y espacio urbano.

Parte de la demanda de habitación será cubierta por la autoconstrucción precaria de viviendas.

El espacio urbano tenderá a ampliarse sobre cualquier área, incluso las no aptas o convenientes. De ahí la importancia de vigilar los asentamientos precarios con el fin de conseguir zonas habitacionales ordenadas.

Los asentamientos no planeados, sin servicios, son difíciles de corregir después y de dotarlos del mínimo equipamiento e infraestructura, con lo cual se van convirtiendo cada vez más en zonas precarias.

La zona objeto de estudio es tropical y húmeda, con unas características climáticas que dan lugar a una vegetación exuberante y una fauna en la zona de pantanos que no es especialmente sana para la vida humana. Además hay en ella una gran influencia de la zona de dunas, las dunas móviles no fijadas, que causan grandes molestias a la población ya que la arena arrastrada por el viento lo invade todo, casas, ropa, alimentos, etc.

Si no se modifican esas zonas de dunas móviles, es preciso fijarlas.

Está previsto atender de forma especial los aspectos de salud y seguridad. Para ello uno de los parámetros fundamentales es la infraestructura hidráulica y sanitaria.

Ahora la situación es bastante deficiente ya que en muchas de las agrupaciones existentes y en las viviendas dispersas no cabe hablar de infraestructura hidráulica y sanitaria. De ordinario el agua se obtiene de pozos muy someros que explotan los acuíferos de las dunas y otros subalveos. Las aguas residuales, cuando más, van a pozos negros.

En los núcleos urbanos existentes en todo el cinturón industrial circundante existe un grave déficit tanto de abastecimiento, como de saneamiento. Los proyectos en curso de ejecución que derivarán aguas de la presa de La Cangrejera y las conducirán a la margen izquierda del río Coatzacoalcos, supondrán un importante alivio en cuanto a disponibilidades para la ciudad de este nombre. A este proyecto seguirá la extensión y mejora de la red de distribución para mejorar la insuficiencia del equipamiento actual.

Asimismo el saneamiento es muy precario en toda la región y el sistema de alcantarillado debe ser reforzado y ampliado. Actualmente la mayor parte de las aguas negras se vierten sin tratamiento directamente al mar o a los ríos de la zona; solamente algunas fosas sépticas individuales

suponen un mínimo grado de depuración. La realización de los proyectos iniciados para el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización ayudarán a aliviar el problema pero deberían ser reforzadas con soluciones más completas dado el contenido en tóxicos de muchos de los efluentes que en la actualidad vierten las industrias tanto al río Coatzacoalcos como a sus afluentes y al pantano.

No existe mucha información sobre el estado sanitario de la población con respecto a las aguas y condiciones del medio, especialmente por lo que se refiere a la población dispersa en el entorno de la Laguna. De los escasos datos obtenidos no parece deducirse una grave afección para enfermedades de transmisión hídrica como no sea la endémica amebiasis.

Otras dolencias propias de climas tropicales y relacionados con el agua, como serían la esquistosomiasis o la oncocerosis no son patentes.

Tampoco aparecen, o al menos registradas, afecciones por toxicidad derivada de la contaminación del río Coatzacoalcos y sus afluentes. Muy posiblemente el elevado caudal y los fuertes lavados que producen las intensas lluvias estivales, reduce a límites no nocivos a corto plazo la contaminación existente.

Se estima que sólo el 40 por 100 de la población disfruta del sistema de agua potable.

No se extraen aguas subterráneas, ni se derivan de las superficiales, ninguna dotación para regadíos, innecesarios en la región.

Para usos industriales existen algunas captaciones tanto de los ríos como de los acuíferos, de poca relevancia en cuanto a su cuantía con relación a los recursos disponibles. La calidad actual de las aguas tomadas no crea problemas para estos usos.

La navegación se practica sobre el río Coatzacoalcos hasta Minatitlán con calados de hasta 28 pies. Sobre el río Calzadas pueden navegar chalanas hasta la Laguna del Tepache en épocas de aguas altas.

La Laguna del Ostión, muy somera en su mayor parte, sólo admite barcas de menos de tres pies de calado.

Los usos recreativos son muy reducidos; alguna asistencia se produce a balnearios medio improvisados en la playa y en el río Huazuntlan, que, por otra parte, ofrecen buenas posibilidades para un mejor aprovechamiento futuro por esta actividad.

La pesca, que podría ser objeto de una explotación importante, se realiza por medios muy limitados y rudimentarios tanto en los ríos como en La Laguna del Ostión y el mar litoral. Este recurso, junto con la acuicultura potencialmente desarrollable deben merecer atención y orientar la gestión

del Puerto Industrial de modo que se cuide el posible impacto sobre él, así como sobre el recreativo antes descrito.

Si se tiene en cuenta que, como se ha dicho, la población actual es de unos 400.000 habitantes y que con una tasa de crecimiento anual del 12 por 100 en el año 2.000 se alcanzará una población de 1.300.000 habitantes, se infiere que uno de los mayores impactos de este proyecto es el que puede crear la zona habitacional, por sus demandas y por los desechos que generará.

## EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

### Impactos producidos por el Puerto

Con relación al Puerto hay que considerar los impactos ambientales que se producen en las tres fases siguientes:

- a) Impactos ambientales ocasionados por la construcción de las infraestructuras en el medio físico-natural.
- b) Impactos ambientales ocasionados por tales infraestructuras, una vez realizadas, al quedar inscritas en el medio físico-natural que las rodea.
- c) Impactos debidos a la explotación portuaria.

Los impactos ocasionados por la construcción corresponden a las obras de dragado (canal y dársenas), a las obras de infraestructura (muelles, explanadas), a las obras de superestructura (pavimentos y auxiliares) y a las obras industriales y de apoyo.

Los dragados de la canal de entrada y de las dársenas representan una clara acción sobre las condiciones existentes en el área afectada, modificándolas al cambiar, aunque sea parcialmente, la geometría en planta y en alzado de la misma.

La canal dragada en mar abierto modificará la batimetría de la zona, actuando como un retractor artificial que cambiará la energía y dirección del oleaje, sobre todo aguas abajo, lo que tendrá incidencia sobre la costa al este del Puerto.

La canal dragada, al llegar junto a la costa producirá la rotura de la

barra sumergida que probablemente existe en la zona (extremo éste a analizar) y la destrucción del mecanismo de equilibrio que la misma juega al servir de amortiguador del oleaje que llega a la costa; todo ello tendrá incidencia tanto al este como al oeste de la bocana del Puerto.

El dragado de la dársena de entrada producirá dos efectos: la rotura del cordón de dunas en un frente, lo que incidirá sobre su equilibrio al este y al oeste, y la penetración de la cuña salina en el régimen hidráulico del subsuelo con la consiguiente alteración del mismo. Este efecto se agravará a medida que la dársena longitudinal proyectada u otras laterales que pudieran construirse, vayan progresando.

El impacto de los vertidos sobre el mar, sobre todo si son elementos finos, limosos, poco aptos para relleno, pueden contaminar el lecho marino y producir azolves en la actual entrada del puerto de Coatzacoalcos al sur, arrastrados por las corrientes litorales.

En tierra, el relleno de extensas áreas bajas de la planicie aluvial modificará el régimen hidráulico de la misma.

Con relación a la flora y fauna las obras de dragado producen unos efectos negativos y algunos positivos. Entre los primeros se pueden citar:

- Aumento de la turbidez del agua por materias en suspensión lo que modifica las características del nicho ecológico, dificulta la fotosíntesis.
- Alteración o destrucción del fitoplancton y zooplancton.
- Aumento de la DBO por la materia orgánica en suspensión.
- Alteración de fondos aptos para la vida de la flora y fauna.

Los efectos favorables pueden ser:

- Mejora de los fondos por extracción de terrenos no aptos como nichos ecológicos (fangos, lodos).
- Aumento del contenido de oxígeno disuelto por la turbulencia ocasionada.
- Mejora de las condiciones alimentarias de la biocenosis al poner en suspensión materias depositadas en el fondo.
- Renovación, aunque limitada, de aguas estancadas y ésto, en todo caso, en los dragados de mantenimiento.

En relación con el medio físico, las acciones suponen alteraciones importantes, como:

- Rotura del equilibrio litoral.
- Modificación de la batimetría, que pudiera incidir en la dinámica litoral y en la explotación de los recursos marinos.
- Peligro de averías o colisiones con los propios artefactos de dragado.
- Producción de ruidos, por sirenas, motores, escalas, palas y golpes de martinete.
- Producción de malos olores, sobre todo al dragar suelos con alto contenido orgánico.
- Contaminación y deterioros producidos por los materiales extraídos en el dragado.

Las obras de infraestructura, a los efectos de su consideración respecto a los impactos ambientales, pueden dividirse en dos grupos: muelles y explanadas, que aunque suelen ir indisolublemente unidos producen efectos de tipo diferente. Hay que tener en cuenta también el período de construcción y el período de puesta en servicio y explotación.

Las estructuras que constituyen la obra portuaria por excelencia, que es el muelle, pueden ocasionar una interacción con el medio físico en que se asientan dependiendo fundamentalmente de tres características: su cimentación, el efecto pantalla y los materiales.

La cimentación de los muelles puede ser superficial, tipo cajones, bloques; semiprofunda, tipo gabiones, pilotes y profunda, tipo pilotes. Cada una de ellas afecta al subsuelo de manera distinta y en el estudio se analizan cada uno de los efectos y su naturaleza.

En sí el impacto no tendría mayor importancia, por lo que a la propia estructura del suelo se refiere, si ello no introdujera una variante muy importante en nuestro caso: la modificación del régimen hídrico del subsuelo a través del cambio profundo de su permeabilidad, lo que puede ocasionar tres efectos muy importantes sobre la naturaleza y características de la penetración de la cuña salina desde la dársena al interior, sobre la escorrentía subálvea de las aguas del interior (portadoras o no de contaminantes) hacia la dársena y sobre la composición del agua de la propia dársena al permitir en mayor o menor grado la penetración del agua dulce en la misma.

El objetivo más importante a conseguir, sobre todo en el lado derecho de la dársena, que es el más próximo a la Laguna del Ostión, es la optimización de las exigencias de la propia estructura para contener, en los límites mas estrechos posibles, la penetración de la cuña salina hacia el interior, facilitar el intercambio de agua dulce del entorno con la dársena, renovando el agua de ésta y contener la penetración de contaminantes en la dársena a través de las escorrentías subálveas.

Para poner en explotación unas instalaciones portuarias se precisa realizar una urbanización de las mismas estableciendo:

- Viales y aparcamientos.
- Redes ferroviarias.
- Superficies de depósito descubiertas.
- Superficies destinadas a almacenes y depósitos especiales.

Esta urbanización conlleva automáticamente un cambio radical en las escorrentías superficiales, que obliga a realizar las oportunas obras de drenaje superficial y de las aguas recogidas por las superficies cubiertas.

En principio la interacción de esta urbanización parecía establecerse en el binomio superficie receptora-dársenas, pero al estudiar con detenimiento la evaluación de este impacto nos encontramos con dos clases de efectos:

- El aporte de agua dulce a las dársenas.
- El arrastre de materias sólidas y su vertido a las dársenas.

Como normalmente este proceso conduce a una pérdida de calado de las dársenas, los dragados de mantenimiento producirán también varios impactos, unos favorables y otros desfavorables.

Uno de los defectos más visibles de las grandes obras de infraestructura es el estado en que suele quedar el entorno de dichas obras, contaminado con residuos materiales de todo género, maquinaria abandonada o por las tremendas heridas infringidas al paisaje con grandes cortaduras, taludes extensos, frentes de cantera al descubierto.

La realidad es que cada vez se tiende más a restañar tales heridas con plantaciones, refino de excavaciones y demás obras auxiliares que, por otra parte, no constituyen motivo de grandes inversiones. Los impactos son debidos a la acumulación de materiales y maquinaria; a la red de viales auxiliares y el producido por la población coyuntural existente durante la construcción de las obras.

La evaluación de los impactos debidos a la permanencia en el tiempo y en el espacio de la infraestructura portuaria, debe tener en cuenta los efectos producidos sobre la masa de agua que compone la dársena y sobre el litoral. Estos últimos pueden tener una gran importancia, como se analiza en el estudio detalladamente.

Una vez puesto en explotación el puerto se producen dentro de su entorno una serie de actividades, algunas inocuas, otras responsables de fuertes impactos y que son consecuencia de las propias funciones que se realizan dentro del puerto.

Las actividades son múltiples y variadas pero a efectos de evaluación podemos agruparlas en tres categorías:

- Función de tráfico marítimo.
- Función de manipulación de mercancías.
- Función de tráfico terrestre.

En el tráfico marítimo hay que considerar las operaciones de navegación de entrada y salida, los lastres y desechos provenientes de buques en puerto y las operaciones con mercancías, ya sea carga general suelta, carga general unificada (paletas, contenedores), graneles, sólidos y líquidos, y mercancías peligrosas.

Además de tener en cuenta todos los impactos identificados (que no se detallan en este resumen), habrá que planificar adecuadamente los accesos al puerto (carreteras, ferrocarril) de forma que no incidan, ni sobre la urbe ni sobre su propio tráfico y al mismo tiempo defender estos accesos y sus áreas de reserva de la congestión y deterioro producidos por el crecimiento de la urbe.

### Impacto Ambiental producido por las industrias

El impacto ambiental producido por el sector industrial puede ser importante, puesto que el fin primordial de estos proyectos de Puertos Industriales es la creación de grandes polos industriales, inducidos por la existencia del propio puerto.

En el polo industrial Laguna del Ostión se ha previsto instalar otro gran complejo petroquímico de PEMEX, una planta de obtención de aluminio a partir de la alúmina, lo que requerirá posiblemente la construcción

de una nueva Central Térmica, puesto que la fabricación de aluminio requiere un gran suministro de energía eléctrica, ya que el consumo eléctrico por tonelada de aluminio producido es superior a 16.000 kwh; industrias metálicas e industria transformadora.

Cabe esperar que en este polo, que realmente puede denominarse polo químico, tengan un gran desarrollo las empresas dedicadas a la polimerización de productos básicos petroquímicos, así como las dedicadas a las manufacturas de plásticos, materiales para la industria textil, pesticidas y herbicidas, fertilizantes, etc.

Sin embargo, en el estado actual de definición de los proyectos, este estudio se refiere principalmente a los impactos que puede producir el complejo petroquímico Laguna del Ostión, situado en un enclave rodeado, a su vez, por otras muchas e importantes plantas químicas, con numerosas unidades de producción que tienen capacidades unitarias elevadas.

La metodología que se ha seguido para la evaluación de los impactos ambientales de este complejo petroquímico, situado en una región con fuerte concentración industrial química, ha sido la siguiente:

1. Evaluación del medio en estado preoperacional o estado cero.
2. Evaluación del impacto del complejo petroquímico del Ostión.
  - 2.1. Análisis de los procesos.
  - 2.2. Evaluación emisión de contaminantes y posibles alteraciones del medio.
  - 2.3. Medidas correctoras.
  - 2.4. Instrumentos de control.
3. Incidencia del proyecto en el medio.
4. Estudio de la capacidad de absorción del medio a ese impacto.

Uno de los aspectos claves de las evaluaciones de impacto ambiental, que deben figurar siempre en las correspondientes E.I.A. (Evaluaciones de Impacto Ambiental) es la consideración de alternativas al proyecto, siendo la primera de ellas el análisis del ambiente *sin* el proyecto.

Esta alternativa ya se ha analizado al estudiar la situación del medio en su estado inicial, estado cero del proyecto o fase preoperacional.

Las *alternativas* deben ser de *emplazamiento* (Puerto e Industrias); de

*modificación de capacidades de producción; de sustitución de tecnologías o variaciones en los procesos, e incluso de modificaciones en el diseño y trazado de infraestructuras.*

Sin embargo, en el caso que es objeto del estudio, no se han considerado alternativas por cuanto se entiende que el emplazamiento está ya definido, así como los procesos petroquímicos y los correspondientes proyectos, al menos en lo que se refiere a la ingeniería básica.

La evaluación se ha realizado en las siguientes fases:

- a) Identificación causa-efecto.
- b) Establecimiento de los factores ambientales.
- c) Selección de los indicadores de Impacto.
- d) Determinación de los efectos y magnitud de los indicadores de Impacto.
- e) Interpretación de los efectos ambientales.
- f) Prevención de los efectos ambientales.
- g) Impactos residuales.

Dada la entidad de este proyecto, la evaluación se refiere a los impactos físicos primarios y a los socioeconómicos inducidos, principalmente impactos secundarios.

## ESTUDIO Y ANALISIS AMBIENTAL DEL COMPLEJO PETROQUIMICO LAGUNA DEL OSTION

### Procesos de fabricación y diagramas de flujo

Como tarea previa al comienzo del trabajo de evaluación de los impactos ambientales, es preciso analizar a fondo las características de los procesos de fabricación de los diferentes productos a obtener, examinando las materias primas, reacciones, tratamientos intermedios y finales, productos obtenidos, subproductos y desechos. En el estudio se han descrito y analizado con gran extensión los procesos de fabricación y se han incluido los diagramas de flujo de los procesos de fabricación siguientes:

— Metanol

- Etileno
- Etilbenceno
- Estireno
- Polietileno baja densidad
- Cumeno
- Derivados clorados
  - Acido clorhídrico
  - Percloroetileno
  - Tetracloruro de carbono
  - Cloruro de vinilo
  - Derivados etano
- Benceno, Tolueno, Xilenos.

Se han descrito también detalladamente los procesos de obtención del etileno y propileno, polietileno de baja densidad, cloruro de vinilo, estireno y otras fabricaciones petroquímicas.

Como en unidades de procesos y plantas existentes en los complejos de La Cangrejera, Pajaritos, Minatitlán y Cosoleacaque se obtienen otros muchos productos, se han elaborado también los diagramas de flujo de otras fabricaciones petroquímicas de gran importancia, con el fin de poder evaluar la incidencia global de la emisión de contaminantes a la atmósfera, de los efluentes líquidos, de los depósitos de residuos sobre el terreno y de los efectos que sobre el medio marino pueden tener todos ellos.

Se ha destacado el papel creciente que en todas las concentraciones industriales se está dando al estudio y tratamiento, es decir, a la gestión de los residuos químicos tóxicos y peligrosos.

Por otra parte estas fabricaciones básicas de la industria química inducirán, sin duda, gran número de industrias complementarias y transformadoras del sector químico, textil, farmacéutico, plásticos y otros, por lo que igualmente se han incluido los diagramas de diversos procesos de polimerización y de otros productos petroquímicos fundamentales.

Para este proyecto se elaboró una amplísima lista de factores ambientales, de la que se dedujo que los atributos más afectados eran los siguientes:

## FACTORES GEOFISICOS

- Aguas, tanto las continentales como las marinas, sobre todo en lo que afecta a calidad.
- Alteración de la zona del litoral por la construcción del Puerto.
- Contaminación atmosférica.
- Residuos químicos tóxicos y peligrosos.

## FACTORES BIOLOGICOS

- Estabilidad del ecosistema de la zona del litoral.
- Especies pesqueras.

## FACTORES DE IMPACTO SOCIOECONOMICO

### *Aspectos humanos y culturales*

- Demografía.
- Conflictos sociales debidos a la congestión urbana.

### *Aspectos socioeconómicos*

- Vivienda.
- Infraestructura sanitaria.
- Servicios comunitarios y equipamiento urbano.
- Empleo.

La importancia biológica de las masas de agua en esta región, así como la agresión de que pueden ser objeto como consecuencia de los productos y subproductos petroquímicos, y la necesidad de disponer de ella en cantidad y calidad suficiente, hacen que el agua haya merecido una atención primordial en el estudio de impacto ambiental. La hidrología de la zona es verdaderamente compleja y al impacto sobre las aguas y estudio del ciclo hidrológico se ha dedicado un gran esfuerzo.

El ciclo hidrológico constituye uno de los subconjuntos básicos del ecosistema. No solo tiene una singular importancia dentro del equilibrio eco-

lógico, sino que los recursos hídricos son uno de los condicionantes mayores de estos programas de desarrollo.

Asimismo se ha dedicado gran atención, posiblemente la mayor en extensión, a los aspectos ecológicos y la incidencia que sobre los biotopos y biocenosis del entorno del puerto y su área industrial de influencia pueden producir estos importantísimos programas de desarrollo.

En el complejo petroquímico de La Laguna del Ostión, se ha previsto producir una serie de compuestos —como los organoclorados y otros— que en alguna de las fases de su ciclo de fabricación pueden generarse residuos de sustancias nocivas, peligrosas o tóxicas. Su correcto tratamiento y eliminación es un punto clave en la moderna petroquímica, y en este estudio se ha analizado el tema en profundidad, incluyendo los sistemas de eliminación convenientes.

Del estudio pormenorizado de estos factores ambientales y del análisis de los procesos de fabricación de los productos químicos a través de los diagramas de proceso se reflejaron los resultados en forma matricial.

Las matrices causa-efecto permiten realizar un análisis de las relaciones de causalidad entre una acción y sus efectos sobre el medio. Se ha elaborado una matriz tipo Leopold para el complejo petroquímico pero situado en el contexto industrial correspondiente al del entorno en que está ubicado, es decir, la región metropolitana de Minatitlán-Coatzacoalcos.

Una vez marcadas todas las cuadrículas que representan impactos posibles, se ha procedido a una evaluación individual de los más importantes.

Seguidamente se han interpretado o descrito los números o valores en ella recogidos más significativos.

La matriz presenta una serie de valores que indican el grado de impacto que una acción puede tener sobre un factor del medio.

La evaluación de los parámetros «magnitud» e «importancia» se ha hecho considerando que las unidades de proceso estarán dotadas de las medidas correctivas usuales en la actualidad en este tipo de plantas.

En algunas de las cuadrículas se ha trazado una diagonal pero no se han valorado los impactos. Ello es debido a que en tal caso puede haber alguna incidencia pero de pequeña entidad o bien no es posible evaluar los efectos por falta de datos (como es el caso de la potencial contaminación que pueden producir las otras industrias del área portuaria del Ostión no pertenecientes al complejo petroquímico de PEMEX, por no estar definidas).

Se ha dispuesto también de un «sistema de alerta» por considerar que hay que destacar ciertas situaciones críticas que puedan presentarse, mediante unos círculos rojos.

### Descripción de los impactos identificados más importantes

Como puede observarse en la representación matricial los mayores impactos corresponden a las siguientes acciones que afectan principalmente a los factores ambientales que se indican:

<i>Acciones</i>	<i>Factores ambientales</i>
A.a. Modificación del hábitat.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suelos.</li> <li>• Aguas continentales.</li> <li>• Aguas marítimas.</li> <li>• Estabilidad del ecosistema.</li> <li>• Usos del territorio, especialmente en la zona residencial para asentamientos humanos.</li> <li>• Factores culturales, estilos de vida salud y seguridad, empleo y demografía.</li> </ul>
A.b. Alteración de la cubierta terrestre.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimiento materiales para construcción.</li> <li>• Estabilidad ecosistema dunar.</li> <li>• Usos del territorio para industrias y zona habitacional.</li> <li>• Red de transportes, infraestructuras y servicios.</li> </ul>
A.c. Alteración de la hidrología.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad.</li> <li>• Calidad.</li> </ul>
B.a. Urbanización.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suelos y materiales de construcción.</li> <li>• Utilización recursos hídricos.</li> <li>• Contaminación aguas.</li> <li>• Asentamientos precarios.</li> </ul>

## B.b. Emplazamientos industriales.

- Fuerte impacto sobre las áreas recreativas.
- Alteración de los sistemas de vida.
- Necesidad de controlar los aspectos de salud y seguridad.
- Grandes posibilidades de empleo.
- Concentraciones de poblaciones en áreas suburbanas.
- Grandes necesidades de servicios e infraestructura urbana.
- Basuras.

- Incidencia sobre el suelo.
- Necesidades altas de recursos hídricos.
- Contaminación de aguas continentales y marítimas.
- Residuos tóxicos y peligrosos.
- Contaminación atmosférica.
- Deterioros ecológicos, en fauna y flora.
- Fuerte modificación de los usos del suelo.
- Gran incidencia sobre los factores culturales, en estilos de vida, empleo, demografía, salud y seguridad, servicios, infraestructuras y equipamientos.

## B.c. Dragados (Puerto).

- Suelos.
- Geomorfología.
- Alteración aguas marítimas.
- Incidencia en aguas subalveas.
- Pesca y organismos bentónicos.
- Inestabilidad ecosistema litoral.

- Modificación entorno por usos del territorio.
- Grandes efectos inducidos (positivos) sobre los asentamientos humanos en cuanto a generación de empleo y dotación de servicios.

## C.a. Industria química.

Efectos semejantes a los señalados en el punto B.b.

## D. Cambios de tráfico.

Este tipo de acciones tiene efectos sobre el suelo, sobre la ecología de la zona y de foma especial afecta mucho a los usos del territorio, al empleo, al equipamiento urbano e industrial y todos los aspectos de infraestructura.

## E.a. Vertidos al mar.

Esta acción en lo que se refiere al vertido de efluentes líquidos contaminados, ya sea a través de emisarios submarinos o mediante barcas y el depósito en el medio marino de residuos tóxicos y peligrosos, es uno de los impactos con bandera roja, es decir, realmente importantes.

## EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

## Evaluación de emisiones atmosféricas

En el complejo petroquímico del Ostión se pueden producir emisiones a la atmósfera de los siguientes contaminantes:

- Oxidos de azufre,  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ .
- Hidrocarburos:
  - *Parafinas* como metano, etano, propano, etc.
  - *Olefinas* como etileno, propileno, etc.
  - *Aromáticos* como benceno, tolueno, xilenos, etc.
- Monóxido de carbono,  $\text{CO}$ .

- Oxidos de nitrógeno, NO y NO<sub>2</sub>.
- Partículas sólidas.
- Compuestos malolientes, como el sulfuro de hidrógeno y mercaptanos.

y en la proximidad de las plantas, ruido.

En las plantas que se manejan u obtienen compuestos clorados se pueden encontrar también sustancias organocloradas (como el cloruro de vinilo, dicloroetano, tricloroetano y otros).

Una parte importante de las emisiones de contaminantes a la atmósfera se debe a las denominadas «emisiones fugitivas» o escapes de materias primas y productos acabados y, en algunos casos, de productos intermedios.

Los contaminantes indicados se pueden dividir en tres grandes grupos, según los efectos que ejercen en el medio ambiente.

- Los que son tóxicos para el hombre, la fauna y flora, y perjudiciales para los bienes materiales en general. Son los siguientes: SO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, y diversos compuestos petroquímicos.
- Los que producen olores molestos: mercaptanos, hidrocarburos y SH<sub>2</sub>.
- Los susceptibles de formar nieblas fotoquímicas en zonas de alto índice de insolación: NO<sub>x</sub>, hidrocarburos, humos, aldehídos.

En la TABLA XXII se indican los contaminantes y focos de qué proceden.

### Olores

Los olores asociados con la emisión de hidrocarburos son mayores en las plantas petroquímicas que en las refinerías y pueden representar una molestia para las comunidades localizadas en zonas habitacionales próximas al Ostión y en la ciudad de Coatzacoalcos podrían percibirse en determinados períodos de tiempo, teniendo en cuenta la dirección predominante de los vientos que llevarán estos olores a la ciudad.

Además hay otros compuestos, como el etileno, por ejemplo, que incluso en muy bajas concentraciones puede afectar al crecimiento de las plantas y causar su defoliación. Estos efectos se han acusado incluso con concentraciones entre 0.001 y 0.6 mg/m<sup>3</sup>. Generalmente estas concentraciones se superan en las cercanías de los complejos petroquímicos.

La alteración del aire, se evalúa pues, a través de su calidad (variación en su composición), por aporte de elementos extraños al mismo y con efectos indeseables, la concentración de los cuales, a nivel respirable, se define

TABLA XXII

### Focos de emisión de los distintos contaminantes en una petroquímica

Contaminante	Foco
SO <sub>2</sub>	Calderas, hornos de proceso, regenerador de catalizador, unidad de desintegración catalítica, antorcha de ácidos, incineradores, decoquizado, hornos.
Hidrocarburos	Estaciones de carga, tanques de almacenamiento, tratamiento de aguas residuales, sistema purgas/antorcha, regeneradores del catalizador, empaquetaduras de válvulas, bombas y compresores, cambio de discos ciegos, torres de enfriamiento, eyectores de vacío, soplado y purga de líneas y equipos, equipo de alta presión de hidrocarburos volátiles, hornos de proceso, calderas, motores de combustión interna.
NO <sub>x</sub>	Hornos de proceso, calderas, motores de combustión interna, regeneración de catalizadores, antorchas.
Humos y partículas sólidas.	Regeneración de catalizadores, calderas, hornos de proceso, decoquizado hornos, incineradores, antorchas.
Aldehídos	Regeneración de catalizadores.
Amoniaco	Regeneración de catalizadores.
Olores	Unidad de tratamiento (soplado con aire o vapor), drenajes, ventilación tanques, equipo de vacío, tratamiento de aguas residuales.
CO	Regeneración de catalizadores, decoquizado, motores de combustión interna, incineradores.

Las mayores emisiones corresponden a los hidrocarburos. Las emisiones totales de estos compuestos oscilan entre el 0.1 y 0.6 por 100 del total de la carga de las plantas.



CARACTERISTICAS DE LA PRESA Y EMBALSE

NOMBRE DE LA PRESA

Río  
País  
Propietario  
Objetivo (s) del aprovechamiento

PRESA

MEDIO AMBIENTE

Tipo..... Geología.....  
Altura (m)..... Relieve .....  
Longitud de coronación..... Clima.....

EMBALSE

Población.....

Superficie de la cuenca (Km<sup>2</sup>)... Vegetación y cultivos.....  
Caudal medio anual (m<sup>3</sup>/sg)..... Fauna y ganadería.....  
Precipitación media (mm).....  
Evaporación (mm)..... Situación respecto a la cuenca:  
Crecida máxima conocida (m<sup>3</sup>/sg). Zona aguas arriba.....  
Volumen del embalse (m<sup>3</sup>)..... Zona aguas abajo.....  
Longitud del embalse (Km)..... Zona de estuario o delta.....  
Superficie de embalse (Km<sup>2</sup>)..... Anchura del río.....  
Longitud de las orillas..... Pendiente en el emplazamiento...  
Calidad del agua.....

OBSERVACIONES

CUADRO XI

Umbral de percepción del olor en diversos contaminantes de la petroquímica

Contaminante	Umbral del olor (ppm)		Olor característico
Acido acético	1		Agrio
Acetona	100		Químico, dulzón
Monometil amina	0,021		Picante, fuerte
Dimetil amina	0,047		Picante
Trimetril amina	0,0002		Picante, fuerte
Amoniacó	46,8		Picante
Benceno	4,7		Disolvente
Sulfuro de benceno	0,002		Sulfhídrico
Disulfuro de carbono	0,21		Vegetal, sulfhídrico
Cloro	0,314		Lejía, picante
Clorofenol	0,00003		Medicinal
Sulfuro de dimetilo	0,001	0,002	Vegetal, sulfhídrico
Sulfuro de dietilo		0,006	Ajo
Sulfuro de difenilo		0,005	Estropajo quemado
Sulfuro de hidrógeno		0,005	Huevos podridos
Metil etil cetona		10	Dulzón
Metil mercaptano	0,001	0,002	Sulfhídrico, parecido a col
Etil mercaptano	0,0004	0,001	Sulfhídrico, parecido a col
n-Propil mercaptano		0,007	Sulfhídrico
n-Butil mercaptano		0,0007	Sulfhídrico, fuerte
Paracresol		0,001	Alquitranoso, picante
Paraxileno		0,47	Dulzón
Fenol		0,047	Medicinal
Fósforo		0,021	Cebolla, mostaza
Dióxido de azufre		0,47	Picante, ardiente
Tolueno	2	—4,7	Disolvente, alcanfor
Butano		6	
Eptano		18	
Pentanos	0,17	—2,1	

### Evaluación de contaminantes en los efluentes líquidos

La mayor parte del agua utilizada en el procesamiento de los hidrocarburos, o sea, en la industria petroquímica, se emplea para refrigeración y generalmente en este uso no se contamina.

En cambio, las aguas utilizadas en las operaciones de proceso se van cargando de determinadas sustancias y las corrientes de aguas residuales llevan contaminantes procedentes de las diferentes fases del proceso por operaciones de lavado, purgas, pérdidas, rotura de tuberías, escapes, etc.

En las diferentes operaciones del procesamiento de los petroquímicos las aguas se contaminan con sales, ácidos, álcalis, sulfuros e hidrocarburos como fenoles y compuestos de alto peso molecular.

Los contaminantes presentes en las aguas residuales más frecuentes en estas unidades son:

- |                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| — Hidrocarburos. | — Amoniaco.              |
| — DBO.           | — Cianuros.              |
| — DQO.           | — Sólidos en suspensión. |
| — Fenoles.       | — Metales pesados.       |
| — Sulfuros.      |                          |

Muchos de los hidrocarburos disueltos en los efluentes líquidos son solamente trazas, como los metales pesados, entre los que hay que destacar los siguientes:

- |             |             |
|-------------|-------------|
| — Plomo     | — Zinc      |
| — Cadmio    | — Antimonio |
| — Cromo     | — Arsénico  |
| — Hierro    | — Berilo    |
| — Cobre     | — Selenio   |
| — Manganeso | — Plata     |
| — Níquel    | — Talio     |
| — Mercurio  |             |

En las plantas petroquímicas las emisiones de contaminantes al agua son mucho menores en volumen, en cantidad, que las que se vierten a la atmósfera, del orden de la décima parte, pero cualitativamente presentan riesgos mucho mayores.

Si las emisiones a la atmósfera en el complejo del Ostión se pueden estimar en un orden de magnitud de cientos a miles de toneladas al año, la cantidad de efluentes líquidos contaminados vertidos puede ser del orden de decenas a cientos de toneladas al año, es decir, como se ha indicado una décima parte de los volúmenes emitidos a la atmósfera.

En gran parte ello se debe a que las inversiones para depurar las aguas residuales han sido mucho más altas que las destinadas a reducir la contaminación atmosférica.

También ha contribuido el hecho de que la mayor parte de los compuestos que se manipulan en la industria petroquímica son hidrocarburos poco solubles en agua.

Las cantidades de aguas residuales que se generan en las últimas etapas de las cadenas de proceso, en donde los hidrocarburos se oxidan y pasan a óxidos, alcoholes y ácidos (que son más solubles en agua), son mayores que en las primeras etapas de los procesos de conversión y transformación.

Como el parámetro fundamental del costo del tratamiento de las aguas residuales de una petroquímica es el volumen o caudal a depurar y además, las cantidades de agua empleadas en este sector son elevadas, en todas las plantas modernas se separan las diferentes corrientes de aguas residuales.

En estos complejos petroquímicos se destina el agua a los siguientes usos:

- Refrigeración.
- Generación de vapor.
- Operaciones de proceso (dilución, lavado, arrastre con vapor).
- Usos sanitarios.
- Protección contra incendios.

Casi toda el agua consumida —excepto el vapor y parte de las pérdidas por evaporación— se puede cuantificar como aguas residuales en el efluente—final, junto con el agua de lluvia.

De ahí que se diseñe un sistema de segregación de corrientes de aguas residuales para someterlas a diferentes tipos y grados de tratamiento y depuración.

En el complejo del Ostión las aguas residuales deberían segregarse en las siguientes corrientes:

- Aguas aceitosas.
- Aguas de lluvia o limpias.

- Aguas de proceso.
- Aguas sanitarias.

Veamos que aguas pueden ir a cada una de estas corrientes:

<i>Sistema</i>	<i>Corriente</i>
	Aguas pluviales en zonas de proceso.
	Aguas pluviales en bloques de bombas de trasiego, mezcla y expedición.
Aguas aceitosas:	Aguas contra incendios.
	Purgas torres de refrigeración.
	Aguas pluviales en zonas de almacenamiento de productos.
	Efluentes planta tratamiento agua bruta.
Aguas limpias:	Purgas de caldera.
	Aguas pluviales en zonas no contaminadas (oficinas, etc).
	Efluentes del tratamiento de las aguas sulfhídricas y amoniacaes.
Aguas de proceso	Efluente del tratamiento de sosa caústica gastada.
	Purgas de agua de equipos proceso.
Aguas sanitarias	Usos sanitarios.

En la industria petroquímica hay que distinguir tres generaciones de productos: los de la primera generación o procesos primarios son los que se obtienen directamente a partir de productos de refinería o de las plantas de gas natural, como por ejemplo, la obtención del etileno a partir del etano, el benceno, tolueno y xilenos del reformado catalítico, etc.

En estos procesos, similares a los de las refinerías, los contaminantes presentes en las aguas residuales son aceites, DBO, sólidos en suspensión, sulfuros, amoniaco, fenoles y mercaptanos.

En los procesos secundarios de transformación, cloración, oxidación, nitración, aparecen muy diversos contaminantes en las aguas residuales.

En los procesos terciarios, generalmente de polimerización, el volumen de contaminantes es menor.

## SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

A efectos de tratamiento las aguas residuales se dividen en dos grupos: las que se depuran directamente fuera de la zona de proceso en una planta de depuración de dichas aguas, y las que se someten a un tratamiento dentro de dicha zona.

Las segundas corresponden a las aguas sulfhídricas y amoniacaes y a la sosa gastada, que se someten al llamado pretratamiento en planta en la zona de proceso. Los efluentes de este pretratamiento se depuran por último en la planta de depuración de aguas residuales junto con las demás corrientes.

El pretratamiento de las aguas residuales de las diferentes unidades del área de proceso se realiza principalmente para depurar las aguas sulfhídricas y amoniacaes (las que, en la terminología inglesa, se conocen por «sour waters»: aguas agrias; ó «foul waters» aguas fétidas) y eliminar la sosa caústica gastada.

### a) Aguas sulfhídricas y amoniacaes

Las aguas sulfhídricas y amoniacaes contienen sulfuros (generalmente  $\text{SH}_2$ ), amoniaco, mercaptanos, fenoles y, a veces, en menor cantidad, ácidos orgánicos solubles, bases de nitrógeno y cianuros. Por regla general corresponden a condensados procedentes de unidades de craqueo o desintegración, reformado catalítico, destilación, destilación a vacío e hidrodeshulfuración.

Estas aguas residuales se someten a un tratamiento previo con objeto de disminuir el contenido de los contaminantes citados, fundamentalmente de  $\text{SH}_2$  y  $\text{NH}_3$  (que les comunican una elevada demanda de oxígeno, alta toxicidad y olor desagradable), antes de enviarlas a la planta de depuración.

También requieren un tratamiento previo y específico los cianuros.

El método de pretratamiento más corriente es la destilación con arrastre de vapor.

En la eliminación de sulfuros, existe la alternativa de la oxidación. Por este procedimiento las aguas sulfhídricas y amoniacaes y la sosa gastada

se procesan juntas oxidando los sulfuros a tiosulfatos y sulfatos. El agente oxidante es el aire, a presiones comprendidas entre 0,7 y 5,6 kg/cm<sup>2</sup> y temperaturas entre 104° y 138°C. Los mercaptanos se eliminan recurriendo a una operación combinada de oxidación y destilación con arrastre de vapor. Toda la operación se lleva a cabo en una torre de destilación, mezclando aire con la alimentación; los gases producidos se incineran.

#### b) Sosa gastada

En las petroquímicas la sosa cáustica se emplea frecuentemente en las operaciones de neutralización y extracción de:

- Sustancias ácidas.
- Productos de reacción ácidos que pueden originarse en diversos procesos químicos.
- Sustancias ácidas formadas durante la desintegración térmica y catalítica, tales como SH<sub>2</sub>, compuestos fenólicos y ácidos orgánicos.

Por tanto, la sosa gastada puede contener sulfuros, mercaptanos, sulfatos, sulfonatos, fenoles, naftenatos y otros compuestos orgánicos e inorgánicos, que contaminan el agua desde los puntos de vista de toxicidad, consumo de oxígeno, olor, sabor, pH y aspecto. Los procedimientos empleados para la depuración de estas aguas residuales son: evacuación directa (por dilución o evacuación en balsas o pozos), métodos químicos (regeneración por destilación con arrastre de vapor u oxidación, oxidación con aire, neutralización) y métodos físico-químicos (neutralización con gases de chimenea, destilación con arrastre de vapor y extracción).

#### Residuos

La creciente utilización de diferentes procedimientos y tecnologías para reducir la contaminación, tanto de las aguas como atmosférica, está originando un incremento de la producción de desechos sólidos y pastosos; fangos y barros del tratamiento de aguas y lavado de gases; residuos de catalizadores gastados; determinadas corrientes de las áreas de proceso —como las aguas con cianuros—, etc., que exigen disponer de lugares adecuados para su depósito y eliminación, ya sea en rellenos controlados, incinerándolos o mediante cualquier otro tratamiento idóneo.

De todos estos residuos, los tóxicos y peligrosos requieren un especial cuidado.

#### Residuos tóxicos y peligrosos

Bastantes de las sustancias que pueden ir a la corriente de aguas residuales en el complejo del Ostión pueden crear trastornos ecológicos por su toxicidad o por su persistencia, es decir, por su no biodegradabilidad, sobre todo en el medio marino. Un ejemplo son los organoclorados, el nitrobenzeno, la acroleína y tantos otros productos.

En todas las industrias de esta zona se producen un tipo u otro de residuos líquidos o sólidos, además de emisiones a la atmósfera que pueden tener un carácter tóxico o peligroso por ser persistentes, no biodegradables, dados los procesos de fabricación, materias primas empleadas, productos intermedios formados, subproductos, desechos de fabricación y pérdidas y escapes.

Por otra parte, el número de productos químicos que intervienen en estos procesos, ya sea como materias primas, aditivos, productos intermedios, subproductos, desechos y productos finales es inmenso. Por tanto, no se pueden considerar todos y se seleccionan los más importantes. Se analizan las sustancias cuyo vertido se puede presentar, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- La naturaleza de la sustancia.
- La cantidad depositada en tierra o transportada por mar.
- Formas principales en que pueden llegar a las aguas continentales (superficiales y subterráneas), al suelo o al medio marino.
- Efectos sobre la biocenosis terrestre y acuática y sobre la vida marina, incluida la bioacumulación y la contaminación.
- Riesgo para la salud humana por ingestión directa o a través de los alimentos procedentes de la pesca continental, productos agropecuarios y del mar, por contacto con la piel o los ojos o por inhalación.
- Efectos sobre los lugares de esparcimiento.
- Naturaleza de los productos de descomposición en el medio ambiente terrestre y en el marino, su toxicidad y persistencia.

Para poder determinar los efluentes de la industria petroquímica se hicieron numerosos diagramas de flujo para el análisis de procesos, subproductos, efluentes, etc. Algunas de las sustancias consideradas no se producirán en la planta del Ostión pero se han incluido porque aparecen como productos intermedios o subproductos, o se están obteniendo en las plantas de Pajaritos, La Cangrejera, Minatitlán, Cosoleacaque y otras industrias o están previstas en futuras ampliaciones.

En los diagramas realizados se indicaron los siguientes aspectos:

- Entrada de materias primas.
- Procesos empleados.
- Vertidos producidos.
- Recirculación de materias.
- Catalizadores.
- Productos obtenidos.

En el CUADRO XII se indican los principales procesos petroquímicos, los residuos que se producen y su origen.

En el CUADRO XIII se relacionan los residuos, clasificados en metales y no metales, citando también su procedencia.

CUADRO XII

Proceso	Origen	Residuos
Alquilación	Lavado	Alquitranes ClH NaOH
Craqueo o desintegración catalítica.	Regenerado	Catalizadores agotados, polvos de catalizadores (sílice, alúmina, hidrocarburos, etc.).
Craqueo o desintegración térmica.	Hornos y tratamientos caústicos	Acidos, SH <sub>2</sub> , mercaptanos, hidrocarburos, productos de polimerización, NaOH, fenoles, gases residuales, alquitrán.
Deshidrogenación	Condensados Colas destilación Catalizadores	Alquitranes, aceites, hidrocarburos, hidrocarburos clorados, glicol, ClNa, catalizadores de Fe, Mg, K, Cu, Cr,

CUADRO XII (continuación)

Proceso	Origen	Residuos
Deshidrogenación	Enfriados Lavados	Zn, hidrocarburos aromáticos.
Desulfuración		Sulfuro de hidrógeno, mercaptanos.
Extracción y destilación	Lavados Solventes Residuos ácidos y caústicos	Acido sulfúrico, hidrocarburos, NaOH, acetona, aceites, alquitranes, acetato amónico cuproso, furfural.
Halogenación (cloración)	Separador Absorción ClH Lavadores Hidrólisis Tanques	Cloruro de hidrógeno, cloro, NaOH, aceites, productos clorados, isómeros, soluciones salinas, alquitranes, cloruro cálcico, catalizadores, orgánicos solubles, alquilhaluros.
Hidrocarboxilación (procesos oxo)	Colas de proceso	Aldehídos, hidrocarburos solubles.
Hidrocianación	Efluentes finales	Cianuros, orgánicos e inorgánicos.
Isomerización	Residuos de proceso	Hidrocarburos alifáticos, aromáticos y derivados de alquitrán.
Nitración		Subproductos aldehído, cetonas, ácidos, alcoholes, olefinas, dióxido de carbono, ácido sulfúrico, NO <sub>2</sub> H, aromáticos.
Obtención amoniaco	Desmineralización Regeneración Condensación Hornos	Acidos, bases, amoniaco, CO <sub>2</sub> , CO.
Obtención cianuros	Aguas contaminadas	Cianuro de hidrógeno, hidrocarburos solubles sin reaccionar.
Oxidación	Condensados Decantadores Refrigeración Colas de proceso	Cl <sub>2</sub> , óxido de etileno, glicoles, dicloruro de etileno, acetona, formaldehído, metanol, alcoholes, ácidos orgánicos, ácido fórmico, negro de humo, sólidos disueltos, resinas.

CUADRO XII (continuación)

Proceso	Origen	Residuos
Polimerización	Catálisis de proceso	Acido fosfórico, cloruro de aluminio, Cr, Ni, CO, Mo, aceites, ciclohexano, ácido glutárico, ácido adipico, metil-etil-cetona, hexametileno, diamina, adiponitrilo, butadieno, etc.
Reformado catalítico	Condensados	Catalizadores Pt, Mo, hidrocarburos aromáticos, NH, sulfuro de hidrógeno.
Regeneración aromáticos	Purificación solventes	Solventes, hidrocarburos aromáticos, dietilenglicol.
Sulfatación de olefinas		Alcoholes, hidrocarburos polimerizados, sulfato sódico, ésteres.
Sulfonación de aromáticos	Lavado cáustico	Sosa agotada
Tratamientos, servicios	Calderas refrigeración tratamiento agua	Fosfatos, ligninas, taninos, cromatos, cloruro de Ca y Mg, sulfatos, carbonatos.

CUADRO XIII  
Residuos según procedencia

Metales		
Desintegración catalítica Reformado catalítico Deshidrogenación, alquilación Isomerización, polimerización	Al, Pt, Mo, Fe, Cr, Ni, Co, Cu	Catalizadores metálicos
Aguas refrigeración y ebullición	Cu, Cr, Zn	Anti-corrosión. Alguicidas. Bactericida.
Extracción y purificación butadieno Eliminación CO antes de síntesis amoniaco	Cu	Cuproso Amoniaco Acetato

CUADRO XIII (continuación)

No metales		
Caústico gastado	Na OH SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> S Na <sub>2</sub>	COMPUESTOS DE SODIO.
Cáustico gastado fenol	Sodio combinado con fenol, cresol, xilenol	
Condensados y cáustico gastado de conversión primaria y refino	S H <sub>2</sub> y mercaptos	COMPUESTOS DE AZUFRE
Cáustico gastado de alquilación	SO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	
Cáustico gastado de sulfonación	Sulfonatos	
Condensados de desintegración o craqueo catalítico	Tiofenoles	
Gases combustión extracción aromática	SO <sub>2</sub>	
Cáustico gastado en cloración	Cl Ca	
Condensados de desintegración catalítica		
Reacciones de hidrocianación	Cianuros	
Desalado de crudos y cáustico gastado	Cloruros	
Control de corrosión, refrigeración y ebullición	Fosfatos y polifosfatos	VARIOS
Catalizador en polimerización, alquilación e isomerización	Acido fosfórico	
Lodos de tratamiento aguas de refrigeración	Sales Mg y Ca	VARIOS
Condensados de refino	N H <sub>3</sub> (sulfuro amónico)	
Nitración aromática	N H <sub>3</sub>	

La EPA en 1975 preparó unas directrices para la evaluación del impacto ambiental de nuevas industrias. En el sector petroquímico considera una amplia relación de sustancias orgánicas tóxicas o peligrosas, que se indican en la TABLA XXIII. En esta relación de más de 200 productos, unos son peligrosos por inflamables o por ser persistentes, no biodegradables; otros son tóxicos.

TABLA XXIII

## Sustancias orgánicas tóxicas y peligrosas, según la EPA (1975)

1. Acetaldehído	43. Isopreno
2. Acetona	44. Nafta
3. Butiraldehído	45. n-Pentano
4. Cánfor	46. Propano
5. Crotonaldehído	47. Propileno
6. Ciclohexanona	48. Tetrapropileno
7. Diisobutil cetona	49. Tripropano (Noreno)
8. Etil metil cetona	50. Turpentina
9. Furfural	51. Antraceno
10. Isoforona	52. Benceno
11. Mesitil óxido	53. Creosota
12. Metil isobutil cetona	54. Cumeno
13. Paraformaldehído	55. Dodecibenceno
14. Propinaldehído	56. Etilbenceno
15. Ácido acético	57. Naftaleno
16. Anhídrido acético	58. Estireno
17. Acetil cloruro	59. Polímeros del estireno
18. Formaldehído	60. Tolueno
19. Ácido oleico	61. Xileno
20. Anhídrido ftálico	62. Ácido acrílico
21. Formato sódico	63. Ácido adipico
22. Oxalato sódico	64. Ácido benzoico
23. Cianohidrin acetona	65. Ácidos grasos
24. Acetonitrilo	66. Ácido fórmico
25. Acrilonitrilo	67. Ácido propiónico
26. Ácido cianoacético	68. Ácido salicílico
27. Cianohidrin etileno	69. Alil alcohol
28. Diisocianato de tolueno	70. Amil alcohol
29. Acetileno	71. Butanol
30. Butadieno	72. Ciclohexanol
31. Butano	73. Decil alcohol
32. Buteno - 1	74. Dietilenglicol
33. Butileno	75. Alcohol furfural
34. Ciclohexano	76. Glicerol
35. Diciclopentadieno	77. Isopropanol
36. Diisobutileno	78. Metanol
37. Etano	79. Metil amil alcohol
38. Etileno	80. Octil alcohol
39. n - Heptano	81. n-Propil alcohol
40. 1 - Hepteno	82. Propilén glicol
41. Hexano	83. Sorbitol
42. Isopentano	84. Trietilen glicol

TABLA XXIII (continuación)

85. Cloruro de alilo	128. O-Toluidina
86. Aminoetil etanol amina	129. Ácido sulfo bencénico
87. n-Butilamina	130. Cloruro de bencilo
88. Ciclohexilamina	131. O-Butil fenol
89. Dietanolamina	132. P-Butil fenol
90. Dietilamina	133. Fenoles
91. Dietilen triamina	134. Cresol
92. Diisopropanol amina	135. Dietilestibestrol
93. Dimetilamina	136. Etil fenol
94. Monoetil amina	137. Nonil fenol
95. Monoetil amina	138. Xilenol
96. Etilen diamina	139. Butil mercaptano
97. Hexametilen diamina	140. Bisulfuro de carbono
98. Isopril amina	141. Tetracloruro de carbono
99. Metil amina	142. Cloral hidrato
100. Morfolina	143. Cloroformo
101. Propil amina	144. Dicloroetil eter
102. Trietanol amina	145. Diclorofluor metano
103. Trietil amina	146. Diclorometano
104. Trietilen tretamina	147. 2,3 - Dicloropropano
105. Trimetil amina	148. 1,3 - Dicloropropano
106. Urea	149. Diclorotetrafluor etano
107. Amil acetato	150. Epiloroalohidrina
108. Butil acetato	151. Cloruro de etilo
109. Butil acrilato	152. Dicloruro de etileno
110. Di-n-butyl ftalato	153. Metil cloroformato
111. Etil acetato	154. Percloroetileno
112. Etil acrilato	155. Policloruro de vinilo
113. Etil ftalato	156. Tetracloroetano
114. Isobutil acetato	157. Tricloroetano
115. Metil acetato	158. Triclorofluorometano
116. Metil acrilato	159. Cloruro de vinilo
117. Metil formato	160. Clorobenceno (Clorobenzol)
118. Metil metacrilato	161. O-Diclorobenceno
119. n-Propil acetato	162. P-Diclorobenceno
120. Acetato de vinilo	163. Hexaclorofeno
121. Acrídina	164. Triclorobenceno
122. Anilina	165. Peróxido de benzoilo
123. 2,4 - Dinitroanilina	166. 1, 2, 4-Butanotriol trinitrato (BTTN)
124. m-Metilalanina	167. Cloropirrina
125. B-Naftilamina	168. Triacido cianúrico
126. Fenil hidracina hidrociorada	169. Dietil eter
127. Piridina	170. Dioxano

TABLA XXIII (continuación)

171. Eteres	190. Nitroanilina
172. Etilen glicol monoetil eter	191. Nitrobenceno
173. Acetato de etilen glicol monoetil eter	192. m y p-nitroclorobenceno
174. Isopropil eter	193. Nitroetano
175. Polipropilen glicol metil eter	194. Nitrometano
176. Oxido de propileno	195. 1-Nitropropano
177. Tetrahidrofuran	196. 4-Nitrofenol
178. Dinitrobenceno	197. 4-Nitrotolueno
179. Dinitrofenol	198. Acido oxálico
180. Difenilamina	199. Fosgeno (cloruro de carbonilo)
181. Bromuro de etileno	200. Bifenilos policlorados (PBC)
182. Bromuro de metilo	201. Nitrato de polivinilo (PVN)
183. Cloruro de metilo	202. Quinona
184. Etilenimina	203. Plomo tetraetilo
185. Trinitrato de glicerol monolactato (GLNT)	204. Plomo tetrametilo
186. Hidrazina	205. Tetranitrometano
187. Hidroquinona	206. Tricresil fosfatc
188. Anhídrico maleico	207. Acroleina
189. Metil ciclopentadienil-tricarbonil Manganese	208. Sulfato de dimetilo
	209. Pentaclorofenol

Se efectuó también la evaluación del impacto ecológico, que no es posible sintetizar por la casuística que presenta un sistema ecológico de las características del de la zona de estudio, por su riqueza, por su diversidad, por tratarse de ecosistemas tropicales que son más frágiles y por la incidencia ecológica de estos proyectos.

Igualmente se analizó el impacto socioeconómico.

## MEDIDAS DE ATENUACION DE LOS IMPACTOS

### Puerto

En la tercera fase del trabajo, una vez conocidos los posibles impactos y valorada su magnitud, cuando es posible, o su naturaleza y extensión, se procedió al estudio de las medidas de atenuación o corrección de los mismos.

En el caso del Puerto se determinaron las medidas para corregir o atenuar los impactos ambientales ocasionados en la construcción (obras de dragado, obras de superestructura y obras de apoyo y auxiliares); los debi-

dos a la propia existencia del Puerto y los que se producen en la explotación portuaria, adoptando las medidas y prácticas de operación adecuadas en la navegación de entrada y salida, en los lastres y desechos provenientes de buques en el puerto, en el manejo de mercancías, especialmente en la carga de productos químicos peligrosos y otros aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema portuario-industrial.

### Complejo petroquímico

Los impactos ambientales identificados y evaluados pueden reducirse adoptando las medidas correctivas precisas para reducir la contaminación del aire y de las aguas, controlar la emisión de olores molestos y ruido, tratar los residuos tóxicos y peligrosos, así como el empleo de unas técnicas de gestión ambiental y mantenimiento de las plantas compatibles con la protección del medio marino, con la defensa y mejora de la ecología del área y con la conservación de los recursos naturales.

Actualmente todos los proyectos de puertos y complejos químicos de la entidad de los que se están estudiando, se diseñan teniendo en cuenta estas necesidades de protección del medio y se proyectan las medidas correctivas precisas que, a nuestro juicio, en el complejo del Ostión deberán ser, como mínimo, las que a continuación se detallan.

## MEDIDAS PARA CORREGIR O ATENUAR LA CONTAMINACION ATMOSFERICA DEL COMPLEJO PETROQUIMICO

En este sector la emisión de contaminantes a la atmósfera, está asociada principalmente con las fuentes de combustión. Los óxidos de azufre, los hidrocarburos, el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno, las partículas sólidas y los olores molestos tienen principalmente esta procedencia.

Las emisiones de SO<sub>2</sub> pueden reducirse utilizando combustibles para la generación de vapor y calor con un contenido en azufre más bajo y si las concentraciones de este contaminante en el aire de la zona fueran muy elevadas, puede llegarse hasta la desulfuración de los gases de combustión. Pero esta medida en el Ostión no será precisa.

Hay que tener en cuenta que las diferentes industrias que se instalen en Ostión, además de PEMEX, contribuirán también a la contaminación del aire con sus focos fijos de combustión, cualquiera que sea el combustible empleado.

Después del  $\text{SO}_2$ , el mayor problema de contaminación atmosférica producido por la petroquímica es la emisión de hidrocarburos y monóxido de carbono, debido a los gases residuales que se generan en los procesos de oxidación. Entre los hidrocarburos más frecuentes se encuentran óxidos, aldehídos y anhídridos y también compuestos en los que el oxígeno juega un papel intermedio en la síntesis, tales como dicloroetileno o acrilonitrilo. En otros procesos se envían a la atmósfera hidrocarburos no convertidos en los reactores o en las operaciones de absorción.

La tecnología existente para atenuar este problema se centra en procesos de combustión que convierten los hidrocarburos y el CO en anhídrido carbónico y agua.

Hay cuatro tipos de aparatos de combustión aplicables en estas petroquímicas:

- Incineradores térmicos.
- Incineradores catalíticos.
- Calderas de fluidos residuales.
- Quemadores de antorcha.

Tanto los incineradores térmicos como los catalíticos pueden eliminar el 95 por 100 del CO e hidrocarburos de los gases residuales. Las calderas tienen rendimientos semejantes de depuración y además con el calor puede generarse vapor de baja presión como subproducto.

Las antorchas pueden eliminar, como máximo, un 10 por 100 de los compuestos contaminantes, presentes en los gases residuales.

Otros puntos de contaminación son las operaciones intermitentes, como:

- Regeneración de los catalizadores.
- Decoquizado de los hornos de proceso.
- Arranques y paradas.

Estas operaciones son inevitables, pero como su duración es corta se toleran, si bien hay que adoptar las debidas precauciones para evitar en lo posible la emisión de contaminantes. En la regeneración de catalizadores, los polvos se separan en ciclones; los gases producidos en esta regeneración se envían por una chimenea. En el decoquizado de los hornos se emplean los mismos métodos. En los arranques y paradas los gases se envían al sistema de antorchas.

### Zona de almacenamiento

Los tanques emiten vapores de los productos volátiles que almacenan con la producción consiguiente de olores molestos y vapores de hidrocarburos susceptibles de reaccionar en la atmósfera para formar nieblas fotoquímicas.

Las emisiones se deben a las siguientes causas:

- Variación de la presión atmosférica.
- Variación de la temperatura ambiente.
- Operaciones de trasiego de los líquidos almacenados.

Los métodos para reducir las emisiones son los siguientes:

- Instalar pulmones o gasómetros que permitan compensar las variaciones de volumen de la fase gaseosa en el tanque y evitar, así, las emisiones debidas a las dos primeras causas, aunque no a la tercera.
- Evitar la variación de la temperatura, aislando el tanque y/o empleando pinturas reflectantes, para reducir las emisiones debidas a la segunda de las causas apuntadas.
- Instalar techos flotantes en los depósitos de almacenamiento de los compuestos de presión de vapor elevada, ya que ello permite reducir drásticamente las emisiones debidas a una cualquiera de estas tres causas.

### Estaciones de carga y descarga de productos en cisternas móviles

Los contaminantes y sus efectos son los mismos que en el caso anterior.

Las cisternas se conectan a la fase gaseosa para recuperar los gases desplazados en las operaciones de trasiego.

Aparte de las emisiones estudiadas, se producen otras por fugas y derrames debidos a los equipos u operaciones inadecuados de éstos. Debido al peligro de incendio que entrañan estas fugas y derrames, tanto el mantenimiento como las operaciones, deben ajustarse a normas muy estrictas.

### Equipo mecánico, purgas, etc.

Este equipo produce los mismos contaminantes que los anteriores.

En el caso de bombas y compresores, las emisiones se deben a las fugas registradas en las empaquetaduras montadas entre las paredes móviles y fijas. La mayor solución consiste en instalar cierres mecánicos, que evitan por completo el problema.

Otra fuente de emisiones son los drenajes, tomas de muestras y ventilación de los equipos de proceso, donde un mantenimiento u operación negligentes producen fugas. Por tanto, no cabe más que ejercer un estricto control de las operaciones y del mantenimiento de la planta, hecho que es corriente en la mayoría de los casos debido al peligro de incendio y explosión que esas fugas entrañan.

### Sistema de antorcha

En el sistema de antorcha se queman los gases en exceso producidos en situaciones de emergencia o en operación normal.

Los contaminantes producidos por el sistema de antorcha son: humos,  $\text{SO}_2$ , hidrocarburos sin quemar y  $\text{NO}_x$ .

La altura de la antorcha se establece en función de los dos requisitos siguientes:

- Protección del equipo contra el calor radiante de la llama de la antorcha, de acuerdo con las normas y códigos vigentes internacionalmente.
- Mantener los niveles de inmisión de contaminantes producidos en la combustión en la antorcha, según la legislación que se aplique en cada caso. Cuanto más estricta sea ésta, tanto mayor será la altura de la antorcha, ya que ello permite una mejor difusión.

El diseño de una antorcha plantea el problema específico de la producción de humos densos, que se producen como consecuencia de una combustión incompleta, debida a un suministro insuficiente de aire.

La combustión se inicia en la periferia de la masa de gas emitido, donde éste forma una mezcla buena con el aire, mientras que en el interior de dicha masa la cantidad de aire necesaria para la combustión es limitada

y da lugar a la producción de reacciones secundarias. Los hidrocarburos se desintegran para dar carbono e hidrógeno elemental o se polimerizan para formar compuestos de peso molecular elevado, o ambas cosas a la vez. Como tanto el carbono elemental como los hidrocarburos pesados son de difícil combustión, se produce una gran cantidad de partículas de carbono que, cuando los gases se enfrían, dan lugar a la formación de humo denso, como es el caso de los quemadores o antorchas bajas de la refinería de Minatitlán.

La combustión sin producción de humos se consigue obteniendo una buena mezcla del aire con los hidrocarburos para que aquélla se complete antes de que puedan producirse las reacciones secundarias. Esta condición se logra aumentando la turbulencia de los gases, inyectando o aspirando aire en la zona de combustión o introduciendo vapor de agua en la corriente de gases, con lo que, además de aumentar la turbulencia y la mezcla adecuada con el aire, se consigue:

- Que los hidrocarburos reaccionen con el vapor, formando compuestos oxigenados de fácil combustión a temperaturas relativamente bajas, aparte de la reacción de gas de agua en la que se obtienen análogos resultados.
- Que el vapor reduzca la presión parcial de los gases combustibles y la separación física de las moléculas de hidrocarburo retrase la formación de polímeros.

En la práctica, las antorchas se diseñan de tal modo que no produzcan humo más que en un intervalo limitado, pues el consumo de vapor sin producción de humos durante la evacuación del caudal máximo de gases es tan elevado que no resulta práctico. El intervalo de operación sin formación de humos se escoge de tal modo que abarque la mayor parte de las operaciones normales de evacuación a la atmósfera de los gases en exceso.

### Evacuación por chimenea

Finalmente, una solución complementaria de las anteriores es mejorar la dispersión de los contaminantes emitidos, mediante su envío a la atmósfera a través de chimeneas de altura adecuada.

### Eliminación de olores molestos

Los olores son quizás los problemas más difíciles de contaminación atmosférica y costosos de tratar en la petroquímica.

Tanto el  $\text{SH}_2$  como los mercaptanos se perciben muy pronto incluso en muy bajas concentraciones por su peculiar olor.

Algunos mercaptanos son perceptibles a concentraciones tan bajas como 0.03 ppb (partes por billón).

El  $\text{SH}_2$  se genera en las unidades petroquímicas durante el proceso de craqueo y en otras operaciones de desulfuración.

Pequeñas cantidades de  $\text{SH}_2$  se pueden quemar en el sistema de gases de combustión de la planta, convirtiéndose en  $\text{SO}_2$ , lo que aumenta la emisión de este contaminante por las chimeneas.

Grandes cantidades de  $\text{SH}_2$  deberán extraerse en el complejo del Ostión de la corriente de gases amargos mediante extracción con solventes.

Los mercaptanos pueden convertirse en disulfuros orgánicos, sin olores molestos, tratándolos en varios procesos de endulzamiento.

### Episodios y situaciones de emergencia

En las plantas químicas, los problemas de contaminación de mayor importancia son los que crean las emisiones que se producen por avería, fallos de funcionamiento o pequeños accidentes en los diferentes equipos de las Unidades de Proceso que dan lugar a unas emisiones puntuales grandes en un corto periodo de tiempo. Estas emisiones puntuales originan unos episodios de contaminación, especialmente atmosférica, que son percibidos rápidamente por la población, que se siente afectada rápidamente.

Si bien es cierto que estas emisiones concentradas afectan sobre todo a los grupos críticos de población —niños y personas mayores enfermas— especialmente con dificultades respiratorias, al percibirse sensorialmente con gran claridad y rapidez, producen en la población una psicosis de mayor riesgo del que realmente presentan. De ahí la gran sensibilización de las poblaciones que viven en los polos químicos frente a la contaminación de origen industrial del aire, y la importancia que tiene el buen mantenimiento y explotación en estas industrias.

Cada una de las industrias del área deberá preparar un plan de acción para controlar las situaciones de emergencia y las actuaciones en casos de

accidentes importantes por emisión a la atmósfera de productos tóxicos o peligrosos.

El plan de emergencia deberá ser conocido por la estación central de Control de la Contaminación y en caso de que se produzca alguna de estas averías o accidentes que puedan dar lugar a los citados episodios, deberán ser comunicados inmediatamente a las autoridades competentes o Centro de Control para adoptar las medidas pertinentes, previamente programadas.

Asimismo, es fundamental tener previstos los medios de asistencia para los casos de emergencia y accidentes, desgraciadamente frecuentes en este tipo de industrias, y cuyos riesgos tanto de toxicidad como los peligros de explosión, incendio, etc., de los productos manejados, producen daños catastróficos.

### Control del ruido

El control del ruido en un Complejo Petroquímico de las características y tamaño del que se está estudiando es más un problema interno de la fábrica que externo. Es decir, que se trata más de un aspecto de higiene y seguridad en el trabajo que de un problema de alteración de la calidad ambiental, pues los valores acústicos que puedan medirse en el exterior no excederán en condiciones normales de 40-60 dBA, inferior al ruido ambiental provocado por el tráfico que existirá en la zona.

### MEDIDAS PARA CORREGIR O ATENUAR EL IMPACTO SOBRE LAS AGUAS DEL COMPLEJO PETROQUIMICO

En el Proyecto del Puerto Industrial del Ostión y su área industrial hay dos grandes impactos, uno de tipo socioeconómico constituido por la presión de los asentamientos humanos, sobre todo los precarios, sobre esta área y el segundo sobre el medio acuático, tanto continental como marítimo.

Los efectos más importantes en cuanto a alteración física de este proyecto es la posible degradación de la calidad de las aguas, las superficiales y subterráneas y sobre todo el medio marino y sus recursos, debido al vertido de efluentes líquidos conteniendo compuestos tóxicos, nocivos o no biodegradables.

De ahí la importancia de las medidas correctivas para atenuar estos impactos sobre la calidad de las aguas.

De los diferentes tipos de corrientes de agua existentes en la petroquímica las realmente preocupantes son las aguas de proceso.

Las aguas residuales efluentes de procesos contienen distintas concentraciones de sustancias de proceso o residuales que pueden estar disueltas; en suspensión o emulsionadas, o bien flotando, como los aceites.

Estos efluentes residuales se pueden agrupar en cinco tipos, que son los siguientes:

**Tipo I:** Efluentes procedentes de procesos donde el agua no interviene en los mismos ni se producen en ellos. Son efluentes de refrigeración y lavado de recipientes y material. Estas aguas residuales contienen benceno, tolueno, xileno, ciclohexano, metiletilcetona, paraxileno y agentes aditivos para evitar la corrosión de los equipos.

**Tipo II:** Efluentes residuales procedentes de procesos en los que el agua interviene como absorbente o diluyente, aunque no interviene directamente en la reacción del proceso ni forma parte de él.

Estos efluentes pueden contener entre otros, los siguientes compuestos: acetato de vinilo, acetileno, acetona, ácido benzoico, benzol, anhídrido ftálico, anhídrido maleico, butadieno, cloruro de vinilo, dicloroetano, dicloroetileno, estireno, etilbenceno, etileno, propileno, formaldehído, metanol, metilaminas, óxidos de etileno, percloroetileno.

**Tipo III:** Efluentes residuales procedentes de procesos en los que las reacciones tienen lugar en fase acuosa, bien en soluciones o en emulsiones. Asimismo suele requerirse agua adicional en las fases de purificación o neutralización del producto final. Estos efluentes son los más contaminados y pueden contener entre otros los siguientes compuestos: acetaldehído, acetato de etilo, ácido acético, ácido acrílico y acrilatos, ácido oxálico, ácido tereftálico, acrilonitrilo, caprolactama, dimetil tereftalato, etilenglicol, fenol y acetona, isopropanol, metacrilato, óxidos de propileno, compuestos oxo y propileno.

**Tipo IV:** Efluentes residuales procedentes de procesos discontinuos, en los que las reacciones se producen en fase líquida y las

operaciones básicas que siguen a la reacción principal pueden ser discontinuas o semicontinuas.

Estos efluentes pueden contener entre otros los siguientes compuestos: sustancias plastificantes, ácidos grasos, ácido cítrico, etc.

**Tipo V:** Aguas sanitarias que son similares a las urbanas y contienen materia orgánica, bacterias y otros microorganismos, amoníaco y detergentes.

En el estudio se describieron los tratamientos adecuados para reducir estas contaminaciones y las medidas correctivas que deberán incluirse en el complejo petroquímico del Ostión, para atenuar los impactos, así como los parámetros de medida de la contaminación empleados para caracterizar los efluentes residuales petroquímicos.

### **Sistema de tratamiento de aguas en el complejo petroquímico del Ostión**

Como síntesis de todo lo anterior, las medidas correctivas para atenuar el impacto del complejo del Ostión sobre las aguas deberán estar constituidas por los siguientes sistemas:

1. Separar las diversas corrientes de aguas residuales generadas en el complejo petroquímico. Al menos deberán segregarse las siguientes:
  - a) — Aguas de proceso.
  - b) — Aguas aceitosas.
  - c) — Aguas blancas o de lluvia.
  - d) — Aguas sanitarias.

A su vez, las aguas residuales efluentes de proceso conviene tratarlas con procedimientos específicos para lo cual es oportuno una separación como se indica en el estudio.

2. Es fundamental disponer de una balsa de homogeneización previa al tratamiento biológico de las diferentes corrientes que llegan a él, previamente tratadas.

3. El complejo del Ostión deberá contar con separadores agua-aceite eficaces, tipo P.P.I. ó C.P.I.
4. En las diferentes unidades de proceso se requieren unos tratamientos previos químicos y físicos, antes de realizar el biológico. Entre ellos, son indispensables los siguientes:
  - 4.1. Lavado de gases para eliminar  $\text{SH}_2$  y mercaptanos.
  - 4.2. Adsorción y extracción con solventes para eliminación de fenoles.
  - 4.3. Incineración de cianuros.
  - 4.4. Filtración de sólidos.
  - 4.5. Eliminación de catalizadores agotados.
  - 4.6. Neutralización y ajuste de pH.
  - 4.7. Oxidación catalítica de determinados compuestos que se citan.
5. Tratamiento biológico, para reducir la demanda de oxígeno hasta un valor aceptable.  
El tratamiento biológico se basará en el sistema de lodos activados que se indica.
6. Tratamiento de fangos, mediante procesos biológicos y físicos, a través de una digestión anaerobia, espesamiento por centrifugación e incineración.
7. Tratamiento terciario por procedimientos físicos o químicos de los barros de las corrientes residuales específicas de proceso.
8. Envío al mar de las aguas purificadas a través de un emisario submarino, como se indica en el Estudio General.

### Impactos residuales

Dando por supuesto que estas medidas serán convenientemente adoptadas y operadas, el efluente final aún resultará cargado con una contaminación residual. Su evacuación al mar puede ser posible mediante un *emisario o grupo* de ellos, cuyo proyecto es uno de los puntos más delicados

de todo el sistema de protección ambiental dada la posibilidad de presencia de tóxicos bioacumulables y/o biodegradables, de los que se ha tratado extensa y profundamente, la fragilidad del ecosistema marino tropical y la producción de pesca destinada al consumo humano. Para ello, se requiere una previsión afinada de los componentes a verter, tanto en cuanto a su naturaleza, como a su cuantía y variabilidad. No menos importante es el conocimiento de las corrientes litorales y de la fauna, flora y morfología de los fondos marinos.

Dentro de estos impactos residuales, aunque propiamente no lo son, se incluyen los posibles escapes por averías, fallos de funcionamiento, fallos humanos o accidentes que pueden llegar tanto al medio acuático, como a la atmósfera, al suelo y a la propia población, dado que en un proyecto de este tipo, esta clase de impactos son inevitables:

Lo importante es que se produzcan las menos veces posibles y sobre todo que se tenga elaborado, por cada empresa, un plan de emergencia para atender estos potenciales episodios.

El emisario submarino recibió también la debida atención, así como la protección del medio hidrológico y de los suelos, la gestión de los recursos naturales bióticos y las redes de vigilancia de la calidad del medio: de la calidad del aire; de la calidad de las aguas, continentales y marítimas; control del vertido de residuos sólidos urbanos e industriales y red de monitoreo de la flora y fauna y de los ecosistemas que contienen los recursos bióticos.

Finalmente se incluye un capítulo de conclusiones y recomendaciones, en donde se resumen los impactos previsibles más importantes sobre el medio humano; sobre el medio marino, especialmente sobre los factores biológicos; sobre la Laguna del Ostión; sobre la morfología y estabilidad de la costa; las necesidades de protección, los medios e instrumentos precisos, los impactos residuales, las previsiones de evolución de estos ecosistemas y de los recursos naturales y la propuesta del monitoreo de los sistemas naturales y recursos bióticos.

Se incluyeron también las medidas de protección recomendables en la fase de proyecto, en la fase de obras y en la fase de explotación y mantenimiento. Se consideró oportuno igualmente la creación de un Centro de Control de Calidad Ambiental en la región y desarrollar la reserva ecológica constituida por la Laguna del Ostión, el sistema de dunas móviles y los pantanos que la rodean que forman un atractivo conjunto de ecosistemas tropicales.

## SUMARIO

Como no ha sido posible en este resumen exponer el contenido de los diferentes componentes de la E.I.A. porque hubiera resultado muy largo, se incluye el índice del Sumario de este trabajo.

### I. PRIMERA FASE

#### A.I.1. Medio físico

##### I.1.1. *Introducción*

##### I.1.2. *Terreno*

###### I.1.2.1. Topografía y geomorfología

###### I.1.2.2. Geología y seismos

###### I.1.2.3. Litología

###### I.1.2.4. Edafología

##### I.1.3. *Clima*

###### I.1.3.1. Temperaturas y soleamiento

###### I.1.3.2. Precipitaciones

###### I.1.3.3. Vientos

###### I.1.3.4. Corrientes y mareas

###### I.1.3.5. Evaporación y evapotranspiración

##### I.1.4. *Hidrología*

###### I.1.4.1. Red hidrológica

###### I.1.4.2. Agua subterráneas

###### I.1.4.3. Escorrentías

###### I.1.4.4. Balance hídrico

###### I.1.4.5. Calidad de las aguas:

###### — Aguas subterráneas

###### — Laguna

###### — Ríos

#### I.2. Medio biológico. Ecología

##### I.2.1. *Biocenosis. Flora y fauna*

##### I.2.2. *Descripción del Complejo ambiental Laguna de Ostión*

##### I.2.3. *Funcionamiento de la Laguna del Ostión*

##### I.2.4. *El manglar*

###### *Los manglares del Golfo de México*

###### I.2.4.1. El manglar de la Laguna del Ostión

###### I.2.4.2. Manglares asociados a la red de drenaje

##### I.2.5. *Otras formaciones de bosque*

##### I.2.6. *El cordón de dunas. Los pantanos*

###### I.2.6.1. El sistema de dunas costeras

###### I.2.6.2. El funcionamiento de los pantanos

###### I.2.6.3. La vegetación de pantanos Pantanos de Coatzacoalcos

##### I.2.7. *Datos de Fitoplancton y zooplancton*

##### I.2.8. *Interdependencia de los sistemas*

###### — Relaciones entre subsistemas

###### — Red de drenaje superficial

###### — Pantanos

###### — Dunas

###### — Laguna del Ostión

###### — Litoral

##### I.2.9. *Interdependencia entre sectores*

### I.3. Medio humano. Aspectos socioeconómicos

#### *B. Descripción del proyecto y su entorno*

##### — *Ambito y alcance del Estudio*

### I.4. Puerto industrial Laguna del Ostión

### I.5. Industrias

#### I.5.1. *Complejo petroquímico del Ostión. Ubicación*

#### I.5.2. *Estudio y análisis ambiental del Complejo petroquímico Laguna del Ostión. Procesos de fabricación y diagramas de flujo*

## II. SEGUNDA FASE

### EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

#### II.1. Impactos producidos por el Puerto Industrial

##### II.1.1. *Impactos ocasionados por la construcción de las infraestructuras*

II.1.1.1. Obras de dragado (canal, dársenas)

II.1.1.2. Obras de infraestructura (muelles, explanadas)

II.1.1.3. Obras de superestructura (pavimentos, auxiliares)

II.1.1.4. Obras industriales

II.1.1.5. Obras de apoyo

##### II.1.2. *Impactos debidos a la inscripción de la infraestructura portuaria*

##### II.1.3. *Impactos debidos a la explotación portuaria*

#### II.2. Impactos producidos por las Industrias

##### *Impacto ambiental Complejo petroquímico Laguna del Ostión*

##### II.2.1. *Identificación de los impactos ambientales y descripción de los más importantes*

##### II.2.2. *Evaluación de los impactos ambientales*

II.2.2.1. Evaluación de emisiones atmosféricas

II.2.2.2. Olores

II.2.2.3. Ruido

II.2.2.4. Evaluación de los efluentes líquidos y segregación de las corrientes de efluentes líquidos

II.2.2.5. Residuos sólidos

II.2.2.6. Residuos tóxicos y peligrosos

a) Definiciones

b) Características de los residuos de las Plantas Petroquímicas

c) Clasificación de los residuos petroquímicos:

Compuestos orgánicos e inorgánicos

d) Identificación de residuos peligrosos. Metodologías

e) Sistematización de residuos

II.2.2.7. Evaluación impacto ecológico

II.2.2.8. Impactos socioeconómicos

## III. TERCERA FASE

### Medidas de atenuación de los Impactos Ambientales

#### III.1. Medidas de atenuación de los impactos ambientales debidos al Puerto

III.1.1. *Medidas de atenuación de los impactos ocasionados por la construcción*

III.1.2. *Atenuación de los impactos debidos a la propia existencia del Puerto*

III.1.3. *Medidas de atenuación de los impactos debidos a la explotación portuaria*

#### III.2. Medidas de atenuación de los impactos ambientales producidos o inducidos por el Complejo petroquímico

III.2.1. *Medidas para corregir o atenuar la contaminación atmosférica*

III.2.2. *Eliminación de olores molestos*

III.2.3. *Episodios y situaciones de emergencia*

III.2.4. *Control del ruido*

III.2.5. *Medidas para corregir o atenuar la contaminación de las aguas*

III.2.6. *Impactos residuales*

III.2.7. *Emisario submarino*

#### III.3. Protección del medio hidrológico y de suelos

III.4. *Gestión de los recursos naturales bióticos*

III.5. *Redes de vigilancia de la Calidad del Medio*

IV. CUARTA FASE

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CASO 2

EMBALSES DE USOS MULTIPLES Y CENTRALES  
HIDROELECTRICAS

Este es otro caso muy importante y frecuente en la evaluación de los impactos ambientales de las grandes obras y proyectos de desarrollo. En América Latina se han llevado a cabo experiencias muy valiosas en este campo y se hace referencia en este apartado a los grandes embalses y Centrales hidroeléctricas de Salto Grande, en el río Uruguay, proyecto binacional de Argentina y Uruguay; Itapú, en el río Paraná, que será la mayor Central hidroeléctrica del mundo, con 12.600 MW, Yaciretá y otras obras.

En los próximos años el agua adquirirá aún más importancia de la que tiene hoy, porque es absolutamente imprescindible para la vida y en cualquier proceso productivo o actividad económica. A finales de este siglo se habrá duplicado la demanda de agua y será preciso regular más y mejor nuestras cuencas fluviales y hacer un uso racional de los recursos hídricos, por lo que cabe esperar numerosas obras y acciones hidráulicas, para diferentes aprovechamientos. Si no se actúa rápidamente en este sentido, en menos de diez años nos enfrentaremos a una «crisis del agua» mucho más significativa que la «crisis de energía».

El aprovechamiento energético del agua exige transformaciones irreversibles (embalses, presas, azudes, canales, galerías, tuberías forzadas, etc), que modifican sustancialmente el curso de los ríos. En España la creación de una capacidad de embalsado superior a 40.000 Hm<sup>3</sup> ha creado costas interiores de un perímetro superior a las marítimas. Su incidencia ha sido de balance muy positivo; sin embargo, la transformación de condiciones

locales, con modificaciones que afectan a las poblaciones asentadas en los parajes próximos, e incluso la desaparición de aldeas o municipios, tiene una incidencia social que puede ser muy importante aunque queda circunscrita físicamente a la zona.

Los embalses inciden sobre el medio ambiente con efectos que se aprecian aguas arriba de la presa, en el propio embalse y aguas abajo de la presa, afectando realmente a toda la zona de influencia. Los efectos se acusan en el medio físico, en el medio biológico y en el medio social. A su vez el medio natural induce otros efectos sobre ellos. Unos efectos son positivos y otros negativos.

Los efectos positivos de las presas, embalses y centrales hidroeléctricas puede ser los siguientes, considerando embalses de uso múltiple:

- Generación de energía eléctrica a partir de un recurso natural renovable en gran escala. Estas centrales son además excelentes factores de regulación de potencia.
- Control de inundaciones y regulación de avenidas.
- Suministro de agua potable a poblaciones.
- Posibilidades de riego.
- Suministro de agua a la industria.
- Zonas recreativas y deportes.

Entre los efectos negativos pueden citarse:

- Posible modificación de la calidad de las aguas.
- Pérdida de recursos, tanto renovables como no renovables.
- Utilización del suelo en detrimento de otras alternativas de uso.
- Reasentamientos humanos.
- Alteraciones importantes del paisaje y del hábitat, sobre todo de la biota, tanto terrestre como acuática.
- Disolución de comunidades, estilos de vida y tradiciones culturales.
- Riesgos humanos en la construcción de presas y en la población que vive aguas abajo de la presa.

El balance es muy positivo, aunque sólo se tuviera en cuenta la disponibilidad de agua embalsada y el control de inundaciones, pero no cabe duda de que hay una serie de alteraciones en el ecosistema, durante la construcción y en funcionamiento. Las mayores alteraciones se producen a través de las presas y embalses, sobre todo en el recurso agua y en la biota, tanto terrestre como acuática.

Por otra parte, habrá que tener en cuenta en un futuro, las exigencias sociales puesto que utilizar valles fértiles y zonas con potencial agrícola para embalses tropieza cada vez con mayor oposición.

Estos aspectos han sido ampliamente estudiados por el Comité sobre Presas y Medio Ambiente de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD). Este Comité se creó en 1972, con ocasión de la 40 Reunión Ejecutiva de la ICOLD, celebrada en Canberra (Australia) y estuvo trabajando hasta 1978.

La metodología seguida es de identificación de impactos, con una valoración de los mismos cualitativa y para algunos parámetros —calidad del agua, por ejemplo— cuantitativa. La síntesis del estudio se recoge en una matriz causa-efecto, tipo Leopold modificada, que se reproduce en este capítulo.

La matriz ha sido aplicada en trece países, por los respectivos Comités Nacionales, en 25 presas. En España se utilizó para el embalse de Cijara.

En Argentina han operado con una matriz semejante pero ampliando el estudio mucho más y atendiendo de forma preferente a la ordenación del uso del espacio.

## EL IMPACTO AMBIENTAL DE LAS PRESAS Y EMBALSES SOBRE EL MEDIO. EFECTOS FISICOS Y BIOLOGICOS

Estos efectos se derivan del obstáculo que constituye la presa para el curso normal de las aguas; los cambios climáticos causados por la influencia del embalse sobre la atmósfera contigua, los efectos sobre las aguas en el propio embalse y en las proximidades y los deslizamientos y temblores de tierra causados por el agua almacenada.

### A) Efecto del obstáculo constituido por la presa

Una presa constituye una barrera que se opone al paso de cuerpos flotantes (maderas, hielo, detritus), a la migración de los peces y a la circulación de los barcos.

Estos efectos sobre el medio ambiente se evitan mediante la construcción de pasos para maderas flotantes, escala de peces, y esclusas. Los aliviaderos libres permiten igualmente la evacuación de los cuerpos flotantes.

#### *Efectos sobre los sólidos transportados*

La reducción, o el bloqueo completo al paso de los sólidos transportados por el río crea distintas clases de perturbaciones sobre las condiciones naturales.

La reducción del transporte de fondo puede ocasionar un desequilibrio en los deltas donde la erosión natural no resulta compensada por estos aportes de sólidos: pueden ser necesarios trabajos correctores para asegurar la estabilidad de las orillas.

La reducción del transporte de sólidos en suspensión puede tener dos consecuencias. La primera es privar a las tierras aguas abajo del limo transportado durante las crecidas. Sobre este aspecto se suele poner como ejemplo la presa de Asuan en Egipto. Pero realmente el valor fertilizante del limo es bastante menor de lo que se supone y es mucho más positivo el prevenir las inundaciones con todos los daños que ello supone.

La construcción de una presa en un curso de agua puede detener la mayor parte de la carga sólida que transporta normalmente la corriente. Esto puede suponer una erosión del lecho en las inmediaciones del embalse aguas abajo. Esta zona de erosión se extiende progresivamente hacia abajo hasta que se alcanza un nuevo equilibrio. Para controlar esta erosión hay diversos sistemas.

Un gran embalse permite la decantación de las sustancias en suspensión en el río. La decantación de gran cantidad de sólidos conduce, por otra parte, al aterramiento, que es uno de los grandes problemas en los embalses.

#### *Transporte de elementos nutritivos*

La sedimentación en el embalse de elementos nutritivos en suspensión puede influir sobre la vida acuática aguas abajo. Un ejemplo típico es también la reducción de pesca de sardina en el Mediterráneo, en la desembocadura del Nilo, como consecuencia de la presencia de la presa de Asuan.

#### *Retención de avenidas pequeñas y medias*

Estas crecidas tienen un efecto favorable para facilitar el acceso a los sitios de puesta (lagos y pozas) y asegurar la renovación del agua en ellos

así como aislar de depredadores terrestres los islotes donde anidan los pájaros migradores y proteger las orillas de la invasión por los bosques o detener la destrucción por los mamíferos de las zonas de gramíneas al borde del agua necesarias para los pájaros migradores. Igualmente se asegura el aporte de elementos nutritivos en los lagos y pozas.

Pueden sustituirse estas crecidas por descargas adecuadas en cuanto a su época, duración y volumen.

Las descargas intempestivas excesivas pueden ser muy perjudiciales, y deben establecerse reglas de explotación en función de las exigencias ecológicas aguas abajo que han de ser escrupulosamente respetadas para evitar los daños.

### **B) Efectos del embalsado sobre la fauna**

La fauna situada aguas arriba de una presa resulta afectada de distintas maneras por la creación de un gran embalse, especialmente porque muchos animales pueden morir, si no se lleva a cabo una acción importante de salvamento; otros emigran hacia un nuevo hábitat; algunos se adaptan al nuevo medio, como los anfibios y la fauna ribereña y las aves y pájaros acuáticos colonizan este nuevo hábitat. En el embalse de Itaipú y dentro del Programa Mymba-Kuera, del Plan de protección ambiental, se llevó a cabo una acción de salvamento y protección de la fauna local muy importante, antes de limpiar el vaso y comenzar el embalsado.

Este efecto de la inundación sobre la fauna es mucho más acusado en las regiones tropicales.

Por otra parte, si la fauna terrestre pierde todo o parte de su hábitat, la fauna acuática encuentra un nuevo medio.

### **C) Influencia sobre el clima**

Los grandes embalses pueden modificar el clima. La formación de nieblas de evaporación sobre un río o un embalse dependen de la humedad del aire, de la diferencia de temperatura entre el agua superficial y el aire ambiente y de la salinidad del agua.

De una manera general para que se forme niebla el aire debe estar más frío que el agua y su humedad relativa mayor del 90 por 100.

De esto resulta que las nieblas aparecen en los climas templados, especialmente en la estación fría y en las horas nocturnas y matinales. En otros

climas un embalse de poca profundidad puede provocar un aumento de la niebla en los días fríos.

Se ha demostrado experimentalmente que los grandes embalses producen un nuevo microclima, siendo más frecuente la lluvia en el entorno.

#### D) Efectos sobre las aguas embalsadas

Los efectos sobre las aguas del embalse son de tipo físico-químico y biológico. Los efectos físico-químicos se refieren a la temperatura del agua, al contenido de gases disueltos, oxígeno y nitrógeno, a la eutrofización y al contenido en materias sólidas disueltas.

Los efectos biológicos son más acusados en las zonas tropicales y afectan a la salud de la población del entorno y a la flora y fauna acuática.

##### *Problemas de ecología y salud en las zonas tropicales y subtropicales*

En las zonas tropicales y subtropicales existen importantes endemias parasitarias. La construcción de embalses en estas zonas cálidas y húmedas tiene una gran incidencia en el aspecto sanitario de la población del entorno, por lo que deben estudiarse y cuidarse especialmente los aspectos de ecología y salud.

Las enfermedades tropicales y subtropicales como la malaria, paludismo, esquistosomiasis y oncoceriosis existen en estado endémico antes de la construcción de embalses, pero estos nuevos cursos de agua tienen un efecto multiplicador de los hábitats de los huéspedes o vectores (organismos portadores de la enfermedad, puesto que albergan al parásito que la produce y lo transmiten al hombre). En consecuencia, se favorece su extensión si no se toman las medidas oportunas.

Las principales enfermedades cuyo desarrollo se favorece por esta vía son:

- El paludismo, cuyo huésped vector es el mosquito, que crece principalmente en pequeñas charcas o acumulaciones de agua, más que en los grandes volúmenes. No son por tanto los embalses llenos los responsables de la difusión del paludismo sino los sistemas marginales, temporales o permanentes, creados por las diferencias de nivel estacionario y por la ocupación humana de las riberas.
- La bilharziosis o esquistosomiasis, cuyo agente patógeno es un gusano, la bilharzia, y el huésped vector es un caracol. La esquistoso-

miasis está extendida por América, África y Asia tropical y afecta a más de 300 millones de personas.

El perímetro del embalse representa un hábitat de excelentes condiciones para el caracol portador de la enfermedad, ya que los sistemas de agua estancada o de débil corriente favorecen el desarrollo de una vegetación palustre intensiva y provoca la creación de ecosistemas, donde se alojan las poblaciones de moluscos vectores de la enfermedad. El ciclo biológico de los moluscos vectores se produce completamente en el agua y las condiciones de contaminación del molusco y del hombre por las bilharzias se realizan también dentro del agua.

Estos moluscos son caracoles que viven adheridos a las plantas acuáticas; se infectan por huevos procedentes de los excrementos. De estos huevos salen las larvas que después de un desarrollo de varios días en el molusco, son liberadas en el agua y penetran a través de la piel del organismo humano, muy a menudo por los pies y las manos. Estas larvas se convierten en gusanos adultos y se localizan en los vasos sanguíneos de los órganos profundos, el hígado, el intestino y la vejiga. Los huevos puestos por estos gusanos adultos se eliminan por las heces y las orinas hacia el agua y el ciclo vuelve a comenzar.

- La oncoceriosis, llamada ceguera de los ríos, producida por un gusano llamado oncocerca, se transmite a través de una mosca pequeña, el simulium.

Los simúlidos vectores viven en el estado larvario y como ninfas en las aguas corrientes, más aireadas por consecuencia y más frescas que las aguas estancadas. Como en el caso del paludismo no es el volumen del embalse en sí mismo el que representa un riesgo sanitario, si no los territorios marginales y los sistemas de agua auxiliares.

Los embalses creados por las grandes presas tienen igualmente una incidencia sobre otras enfermedades parasitarias sin huéspedes intermedios, como la amebiasis y sobre enfermedades de origen viral o bacteriano como la fiebre tifoidea y las enteroinfecciones.

Las medidas, preconizadas para impedir la instalación o la multiplicación de los mosquitos vectores y de los moluscos huéspedes intermedios son las siguientes:

*Antes del llenado del embalse:* limpieza del vaso; profundización, relle-

no, canalización o establecimiento de zanjias de drenaje para evitar la formación de marismas en la zona de oscilación de nivel.

*Durante la explotación:* modificación semanal del nivel del embalse de algunas decenas de centímetros durante la época de puesta.

Los pesticidas constituyen el más importante medio de defensa.

Haciendo crecer la vegetación que se conoce como tóxica para los caracoles de la bilharziosis.

Educando a la población local respecto a las relaciones entre salud, higiene, cuidado comunitario y profilaxis médica.

#### *Efectos sobre la flora y la fauna acuática*

En las regiones tropicales el desarrollo de la vegetación acuática puede provocar graves inconvenientes, dificultando la navegación y la pesca y ofreciendo un albergue a los insectos vectores de enfermedades o al modificar la composición química del agua o al obstruir las tomas. Las tres plantas más nefastas son la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), un helecho (*Salvinia auriculata*) y sobre todo, el lirio acuático o jacinto de agua (*Eichornia Crassipes*).

En las regiones más templadas el milhoja acuático euroasiático (*Myriophyllum Spicatum* L), planta ornamental de los acuarios, constituye el mayor inconveniente de lagos poco profundos. Los medios de lucha utilizados para contenerlo, a falta de medios eficaces para hacerlo desaparecer, son los siguientes: desecación haciendo descender el plano de agua y la utilización selectiva de herbicidas distribuidos por barco o helicópteros.

Los embalses poco profundos resultan invadidos por los carrizos. Pero las mayores dificultades debidas a la flora, provienen de las algas que invaden los canales aguas abajo de algunos grandes embalses.

Los embalses pueden provocar un desarrollo considerable de la fauna acuática. Las especies de peces no son siempre las mismas que en las aguas corrientes y la introducción de especies nuevas debe hacerse con precauciones.

Los peces migratorios presentan a menudo un gran interés (actividades económicas, recreo). Por esta razón y para reducir al mínimo los efectos de modificación ecológica, se prevén escalas de peces. Las escalas permiten a los peces remontar por etapas, como lo hacen en la naturaleza. Como alternativa pueden utilizarse ascensores en los cuales los peces entran en una cámara baja cuya entrada se cierra pasado cierto tiempo. Se llena entonces la cámara de agua así como un conducto que desemboca en la cámara superior situada al nivel del embalse. Ambos sistemas son eficaces

para la emigración de peces hacia aguas arriba para la puesta pero es más difícil asegurar el regreso hacia el mar en el movimiento hacia aguas abajo.

Por lo que se refiere a la protección de los peces es preciso prever rejillas que impidan la entrada en aberturas que ofrezcan riesgos para ellos o por donde pudieran causar daños o bloquear la maquinaria de la Central.

En el caso de trasvases de agua de una cuenca hacia otra es necesario vigilar para impedir la transferencia al mismo tiempo de especies perjudiciales o indeseables. Puede hacerse por ejemplo mediante rejillas a la entrada de las obras de toma.

#### **E) Acción sobre las aguas fuera del embalse**

Estas acciones se refieren a la desecación de ríos, como consecuencia de la derivación de sus aguas; a la modificación de los mantos freáticos y a las medidas que hay que adoptar para gestionar la cuenca debidamente, en estas nuevas circunstancias, tanto para la protección del embalse como para la conservación de la cuenca afectada.

Los desmontes o los deficientes aprovechamientos agrícolas pueden provocar deterioros de erosión, con la pérdida de tierras y suelos que ello significa, y al mismo tiempo producir un aterramiento en el embalse que poco a poco va perdiendo capacidad del vaso y calidad de agua.

En consecuencia, hay que reforestar las zonas afectadas para fijar y conservar el suelo y la vegetación y restaurar las tierras cultivables aplicando prácticas adecuadas.

También es cada vez mas importante, sobre todo en los embalses para abastecimientos de agua potable, limitar el acceso de personas, impedir el de los grandes animales, prohibir el vertido de aguas residuales, controlar la escorrentía de fuentes difusas que aportan al mismo insecticidas, fertilizantes y sólidos y prevenir lo antes posible los cada vez más frecuentes procesos de eutrofización.

#### **F) Deslizamiento de tierras y seísmos inducidos**

Los deslizamientos de tierra tipifican la interacción entre el aprovechamiento hidráulico y el medio ambiente. Un embalse puede provocar un deslizamiento de tierra en las laderas que puede parcialmente rellenar el cuenco.

También requiere un estudio específico el análisis de los posibles seísmos inducidos por el llenado del embalse.

## EFFECTOS SOCIALES

Ya se han citado los efectos positivos y negativos de la construcción de presas, embalses y centrales hidroeléctricas. Los efectos positivos son fundamentalmente beneficios sociales, unos directos como son los regadíos, control de inundaciones y la consiguiente recuperación de tierras inundables por los ríos o sometidas a la acción de las mareas, abastecimientos de agua de poblaciones y de industrias, protección contra las avenidas y alivio de los estiajes, producción de electricidad, navegación y usos recreativos y otros inducidos como la mejora del paisaje, la diversificación de la actividad económica de la zona por el desarrollo de actividades turísticas y recreativas; la mejora de la infraestructura viaria (nuevas carreteras y accesos); desarrollo de la pesca; disponibilidad de medios para prevención de incendios forestales, ya que la lamina de agua sirve de pantalla o barrera para cortar el fuego, lo que hace que se limite o reduzca esta catástrofe ecológica que son los incendios forestales.

También hay algunos efectos sociales perjudiciales, como es el desplazamiento de las poblaciones, el anegamiento de tierras cultivables y de lugares histórico-artístico o arqueológicos y los potenciales riesgos a que está sometida la población que vive aguas abajo de la presa, puesto que ha habido algunos accidentes en el mundo importantes.

Actualmente en la fase de proyecto ya se establecen las medidas precisas para realojar a la población desplazada en lugares próximos, en mejores condiciones de vivienda y servicios y compensando —en tierras o económicamente— los terrenos ocupados. Asimismo se consideran las acciones precisas para salvaguardar el patrimonio cultural afectado.

## METODO DE EVALUACION DE LA COMISION INTERNACIONAL DE GRANDES PRESAS

La matriz propuesta por el Comité del efecto de las presas y del medio ambiente está destinada a hacer el inventario y posteriormente la evaluación, siquiera sea en términos cualitativos o relativos, de los impactos de las presas y de los trabajos relacionados con las presas, sobre los parámetros del medio ambiente. Su utilización por los proyectistas y los responsables de decisiones les permitirá prever las medidas que alivien los efectos perjudiciales, y acentuar los efectos positivos.

Esta matriz está inspirada en la de Leopold y consiste en un cuadro

de doble entrada cuyo eje horizontal representa los efectos sobre el medio ambiente económico, social, geofísico, hidrológico, climático, biológico (fauna y flora) mientras que el eje vertical, recoge las características de las acciones diferenciando: el uso del agua, el tipo de acción, la zona afectada, las acciones correctivas y las acciones jurídicas.

El impacto global de la presa, se descompone por lo tanto en una serie de impactos elementales fáciles de distinguir puesto que cada elemento y cada intervención están diferenciados.

La matriz, como en todos los métodos de identificación, debe ser completada por un texto de comentarios que justifique y explique las interpretaciones del usuario.

El proceso de empleo puede descomponerse en seis fases:

1. En una etapa inicial, se identifican en la lista *A* todas las acciones que intervienen de modo importante en el proyecto: en primer lugar, las que constituyen los objetivos de la obra (*A.10*), ordenándolas jerárquicamente, la columna «usos del agua» y seguidamente aquellas que se refieren a la presa o a las obras (*A.20*).
2. En una segunda etapa, se buscan en la lista *E* todos los parámetros del medio ambiente susceptibles de ser afectados por las acciones.  
Es en esta etapa cuando la matriz funciona como lista de referencia «check list», y permite un inventario sistemático de los impactos.
3. Una tercera fase consiste en detallar (en *A.30*) las áreas afectadas por los impactos definidos anteriormente.
4. En la fase siguiente cada impacto identificado es objeto de una evaluación por el empleo de los símbolos que figuran en la leyenda, símbolos que permiten introducir las nociones de importancia relativa, grado de certidumbre, duración y efectos diferidos de los impactos.  
Un mismo impacto puede ser objeto de varias evaluaciones según el tiempo o según el lugar. Se dirá igualmente si el efecto ha sido tomado en cuenta o no al concebir el proyecto por los símbolos respectivos *Y* o *N*.
5. A fin de visualizar el encadenamiento de los impactos, y las reper-

cusiones que pueden tener los efectos unos sobre otros se pueden utilizar flechas que unan los efectos de una misma acción, lo que permitirá materializar gráficamente las acciones de realimentación («feed back»).

6. La última fase consiste en considerar las medidas correctoras para paliar los efectos censados e investigar si estas medidas no entrañan a su vez repercusiones sobre el ecosistema.

Así puede limitarse la utilización de la matriz a un simple inventario, o por el contrario, intentar, utilizando todas sus posibilidades por combinación de la lectura vertical y la lectura horizontal, y por la introducción de la simbología, traducir la noción de sistema teniendo en cuenta la dinámica de este concepto. Pero cualquiera que sea el uso que se haga de ella, es necesario recordar que la matriz es ante todo un sistema de identificación que debe completarse con el estudio ecológico realizado por especialistas y recurrir a los expertos para estudiar cada punto particular, como sucede en todos los estudios de impacto ambiental.

CUADRO XIV  
Utilización de los símbolos

USOS DEL AGUA (A10)	
I.	Primero
II.	Segundo
III.	Tercero
IMPACTO DEL PROYECTO	
+	benéfico
-	dañino
x	previsible pero difícil de calificar sin estudios específicos.
IMPORTANCIA	
1	menor
2	moderada
3	mayor

CUADRO XIV (continuación)

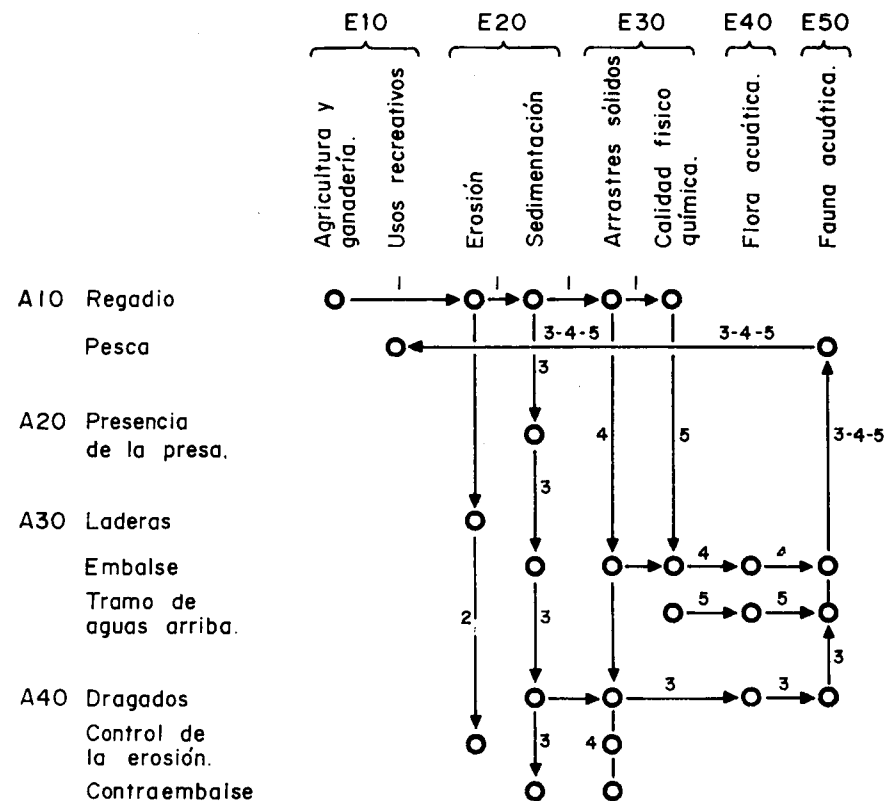
CERTIDUMBRE

- c cierto  
p probable  
i improbable  
n desconocido

DURACION

- t temporal  
p permanente

Utilización de las flechas para la materialización de las reacciones en cadena y de los bucles cerrados



## CUADRO XIV (continuación)

## PLAZO

- I inmediato
- M a medio término
- L a largo término

## EFECTO CONSIDERADO EN EL PROYECTO

- Y Si
- N No

\* \* \*

## Definición de los términos empleados en la matriz

## A ACCIONES CONSIDERADAS

## A 10 USO DEL AGUA

- A 101 — Regadío.
- A 102 — Energía.
- A 103 — Abastecimiento de agua: reserva de agua potable.
- A 104 — Control de caudales: amortiguación de crecidas.
- A 105 — Utilización industrial: comprende también el agua utilizada para la refrigeración de las centrales térmicas.
- A 106 — Navegación.
- A 107 — Lucha contra incendios.
- A 108 — Pesca: comprendida la pesca deportiva.
- A 109 — Usos recreativos: deportes náuticos (natación, navegación a vela, esquí náutico, etc).
- A 110 — Otras utilidades (ejemplo desalinización).

## A 20 TIPO DE ACCION

- A 201 — Presencia de la presa: considerado como estructura independiente del embalse.

- A 202 — Embalse: lago de retenida.
- A 203 — Derivación de aguas: desviación del lecho del curso fluvial.
- A 204 — Obras de construcción.
- A 205 — Ataguías: obras provisionales.
- A 206 — Edificios: edificios de obra, de explotación, etc.
- A 207 — Deforestación: en la zona del embalse.
- A 208 — Cantera: préstamos.
- A 209 — Exclusas: para la navegación o sólidos flotantes.
- A 210 — Canales y tuberías: para el riego, drenaje, etc.
- A 211 — Descarga de agua: en explotación.
- A 212 — Tomas de agua: captación, obras definitivas.
- A 213 — Líneas aéreas: electricidad, teléfono, etc.
- A 214 — Otros tipos de acción.

## A 30 ZONAS AFECTADAS

- A 301 — Zona sumergida.
- A 302 — Laderas y cuencas vertientes al embalse.
- A 303 — Zona de oscilación: debida a las variaciones del nivel del lago.
- A 304 — Cursos de agua, aguas arriba del embalse.
- A 305 — Cursos de agua, aguas abajo del embalse.
- A 306 — Canales de regadío.
- A 307 — Aguas subterráneas: mantos freáticos, etc.
- A 308 — Litoral marino.
- A 309 — Otras zonas.

## A 40 ACCIONES CORRECTORAS PROPUESTAS

- A 401 — Ordenación piscícola: criaderos, escala de peces, ordenación de zonas de puesta, etc.
- A 402 — Caudal garantizado: caudal necesario para mantener una cierta cantidad de agua o una calidad biológica, físico-química y piscícola aguas abajo del embalse.
- A 403 — Ordenación turística: acciones correctoras.
- A 404 — Regulación del plano de agua: control de oscilaciones de nivel, construcción de obras destinadas a mantener localmente en una zona del embalse un plano de agua de nivel constante.
- A 405 — Infraestructura: vías y redes diversas destinadas a compensar los daños resultantes de las obras.

- A 406 — Reforestación: en las proximidades.
- A 407 — Lucha contra la erosión: creación de terrazas, plantaciones, rectificación de pendientes, etc.
- A 408 — Dragado: en el embalse o aguas abajo.
- A 409 — Descargas de agua necesarias para preservar la zona aguas arriba de la presa.
- A 410 — Contraembalse: aguas arriba, para retener sedimentos, etc.
- A 411 — Embalse de compensación: aguas abajo para regularizar los caudales.
- A 412 — Barrera contra cuerpos flotantes.
- A 413 — Perímetro de protección: zona sometida a una reglamentación específica en lo que concierne a la utilización de abonos, pesticidas, etc.
- A 414 — Tratamiento del agua: se refiere al tratamiento de los efluentes aguas arriba y aguas abajo del embalse y el tratamiento del agua del embalse in situ.
- A 415 — Industrias correctivas: industrias especialmente instaladas para paliar los inconvenientes inherentes a la creación del embalse.
- A 416 — Reasentamiento de las personas desplazadas por la obra.
- A 417 — Otra acción correctiva.
- A 418 — Otra acción correctiva.
- A 419 — Otra acción correctiva.

#### A 50 ACCIONES JURIDICAS Y FINANCIERAS

- A 501 — Tasas, impuestos, cánones: concierne a todas las tasas fiscales modificadas por la implantación de la obra.
- A 502 — Revaluación rústica: concierne a los terrenos en las proximidades del embalse y de la presa.
- A 503 — Reglamentación urbanística: concierne a las limitaciones impuestas para preservar el sitio.

#### A 60 OTRAS: CONCIERNE A LAS ACCIONES NO CONSIDERADAS MAS ARRIBA

- A 601 — Otras.

#### E EFECTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

##### E 10 IMPACTOS SOBRE EL HOMBRE

- E 101 — Industrialización y comercialización: censo de las industrias y del comercio susceptible de instalarse como consecuencia de la obra.

- E 102 — Empleo: creación o desaparición de puestos de empleo.
- E 103 — Turismo.
- E 104 — Agricultura y ganadería: sentido general.
- E 105 — Vías de comunicación: destruidas o creadas.
- E 106 — Comercio y finanzas locales: impacto, a nivel local de la obra y de las instalaciones sobre los comercios existentes o sobre las finanzas locales.
- E 107 — Revalorización rústica: concierne a los terrenos cuyo valor patrimonial ha de ser modificado por la instalación.  
Cuadro de vida y cuadro social
- E 108 — Aceptación social: modo en el que el proyecto es evaluado por las personas que viven en la región.
- E 109 — Usos recreativos.
- E 110 — Patrimonio cultural: incluye los sitios arqueológicos, históricos y los monumentos arquitectónicos, etc.
- E 111 — Estético: concierne a los trabajos y obras, la obra completa y las proximidades después de la conclusión.
- E 112 — Suministro de agua potable.
- E 113 — Expropiaciones.
- E 114 — Exodo rural: desplazamiento de las poblaciones cuya actividad rural viene afectada por el proyecto, incluye los efectos positivos sobre las personas que permanecen en el área o vuelven a ella.
- E 115 — Protección contra los riesgos naturales: se trata de la protección contra las crecidas, la sequía, el hambre, (con exclusión de la seguridad propia de las obras).
- E 116 — Salud: con relación a los ribereños del embalse, a los obreros, que trabajan en la construcción, etc.
- E 117 — Otros impactos sobre el hombre.

##### E 20 IMPACTO GEOFISICO

- E 201 — Morfología: modificación de la forma de los terrenos naturales y de las características del drenaje y escorrentías.
- E 202 — Erosión.
- E 203 — Transportes en suspensión: ver E 204
- E 204 — Arrastre de fondo: permite diferenciar el transporte de los elementos por arrastre sobre el fondo del lecho del transporte de masas en suspensión compuestas por elementos finos. (E 203).
- E 205 — Depósitos: concierne al embalse pero también a los efluentes aguas abajo cuyo nivel de equilibrio puede ser perturbado.
- E 206 — Estabilidad de los taludes.
- E 207 — Seismos inducidos, por la creación del embalse.
- E 208 — Salinidad de los suelos.

- E 209 — Inundaciones.
- E 210 — Creación de zonas pantanosas o hidromorfos.
- E 211 — Deseccación de tierras: por modificación del nivel freático.
- E 212 — Influencia sobre las mareas: se trata de las consecuencias físicas o geomorfológicas provocadas por la modificación del régimen de las mareas debido a la presencia de la presa.
- E 213 — Otros.

## E 30 IMPACTOS SOBRE EL AGUA

- E 301 — Calidad biológica: materias orgánicas, DBO<sub>5</sub>, etc.
- E 302 — Calidad físico-química: pH, gases disueltos.
- E 303 — Salinidad: Se refiere a todas las sales disueltas.
- E 304 — Sólidos en suspensión: turbiedad del agua.
- E 305 — Temperaturas.
- E 306 — Evaporación.
- E 307 — Régimen hidráulico: consecuencias sobre el caudal y el régimen de los cursos de agua afectados por el proyecto.
- E 308 — Pérdidas de agua: déficit hídrico.
- E 309 — Manto freático: modificación del nivel del manto.
- E 310 — Otros.

## E 40 IMPACTOS SOBRE EL CLIMA

- E 401 — Creación de un meso-clima: modificación del clima local.

## E 50 IMPACTO SOBRE LA FLORA TERRESTRE Y ACUATICA

*Flora Terrestre*

- E 501 — Bosques.
- E 502 — Liellos y eriales: tierras no cultivadas ocupadas eventualmente por una formación arbustiva.
- E 503 — Formaciones herbáceas: prados, estepas, céspedes, etc.
- E 504 — Flora acuática.
- E 505 — Vegetales superiores: malas hierbas de agua, algas, etc.
- E 506 — Microflora activa: hongos, algas incrustantes, líquenes, etc.
- E 507 — Fitoplancton.
- E 508 — Especies raras o a proteger: se refiere a la vez a las especies acuáticas y terrestres.
- E 509 — Otra flora.

## E 60 IMPACTO SOBRE LA FAUNA TERRESTRE Y ACUATICA

*Fauna terrestre*

- E 601 — Mamíferos.
- E 602 — Pájaros.
- E 603 — Insectos.
- E 604 — Reptiles y anfibios.

*Fauna acuática*

- E 605 — Pesca explotable.
- E 606 — Otros peces.
- E 607 — Macroinvertebrados: larvas de insectos, moluscos, etc.
- E 608 — Zoo plancton.
- E 609 — Microorganismos: bacterias, microfaunas, etc.
- E 610 — Especies raras a proteger: se refiere a la fauna terrestre y a la flora acuática.
- E 611 — Otra fauna.

Se reproduce esta matriz, como orientación para el lector. Para una mayor información, debe consultarse la publicación del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, de España, titulada *Las Presas y el Medio Ambiente. Evaluación del Impacto Ambiental*, Madrid, 1982, que corresponde a una traducción efectuada por Eduardo Rodríguez Paradinas de los boletines n.º 35 y n.º 37 de la Comisión Internacional de Grandes Presas, de donde se ha tomado una parte de esta documentación.

En América del Sur se están llevando a cabo proyectos hidroeléctricos importantísimos y en ellos se están efectuando evaluaciones de impacto ambiental muy interesantes.

La gran presa de Asuan y su enorme efecto para regular las crecidas del Nilo se construyó cuando todavía no existía una conciencia y un conocimiento de estos problemas. Por eso se han detectado allí numerosos efectos ambientales que hace que se mencione siempre este caso como paradigma de las consecuencias ambientales que hay que prever.

En América del Sur existen dos grandes cuencas hidrográficas, una es la del Amazonas, que abarca la zona central del continente y la otra es la Cuenca del Plata que constituye un territorio en que confluyen los límites jurisdiccionales de cinco países: Argentina, Brasil, Bolivia, Paraguay y Uruguay.

Se describen someramente los estudios y trabajos de protección am-

biental efectuados en dos grandes proyectos binacionales, de aprovechamientos hidroeléctricos y otros fines en dos ríos de la Cuenca del Plata, el Uruguay y el Paraná, es decir, las presas, embalses y centrales hidroeléctricas de Salto Grande y de Itaipú.

### CASO DE SALTO GRANDE (ARGENTINA-URUGUAY)

En el centro hidrológico y geográfico de la Cuenca del Plata, en jurisdicción argentina, se extiende la región mesopotámica integrada por las provincias de Corrientes, Entre Ríos y Misiones.

Históricamente, en su extenso y productivo territorio, generador de vastos recursos renovables, se han asentado importantes núcleos de población dando origen a numerosas ciudades y pueblos.

La presa de Salto Grande se construyó sobre el río Uruguay, frontera entre Argentina y Uruguay. Es un proyecto y obra binacional, llevado a cabo por ambos países.

Las obras comenzaron en 1974 y se han terminado en 1983. Es un embalse de aprovechamiento múltiple, de unos 200 metros de largo, con una superficie de 78.300 Ha. La presa tiene una altura de 69 metros desde cimientos y 39 m., sobre el nivel del río. La central hidroeléctrica tiene 14 grupos, las turbinas son tipo Kaplan, de 135 MW por unidad y la potencia total es de 1.890 MW, con una producción anual de 6.700 millones de KWh.

Además es un complejo ferroviario y dispone de un canal de navegación de 12 km, construido sobre la margen argentina. Este canal prolonga la navegabilidad del río Uruguay en 144 km, aguas arriba de la presa, hasta Bella Unión (Uruguay) y Monte Caseros (Argentina).

Desde sus fuentes en la Serra do Mar, en Brasil, hasta su desembocadura, el río Uruguay recorre aproximadamente 1.800 km. Su cuenca abarca una superficie territorial de 370.000 km<sup>2</sup>, de los cuales cerca de 250.000 se encuentran aguas arriba de la presa de Salto Grande.

En sus nacientes y a lo largo de 500 km corre en territorio brasileño en dirección oeste, con un curso sinuoso, a través de terrenos quebrados y montañosos.

Aguas abajo, hasta la localidad correntina de Monte Caseros, cambia su curso en dirección sudoeste. Este tramo de 800 km constituye la frontera entre Argentina y Brasil.

Desde Monte Caseros hasta su desembocadura, en un tramo de 500

km el río corre en dirección sur, el relieve es suave con cotas regularmente inferiores a 200 m. En este último tramo, el río constituye el límite entre Argentina y Uruguay.

En las proximidades del embalse, la altura del terreno raramente supera en más de 20 m, a la cota de aquél y la topografía se caracteriza por una serie de ondulaciones poco pronunciadas que bajan suavemente hacia el capice.

Una red muy completa de tributarios surcan la región facilitando el drenaje de la zona, aunque con frecuencia se encuentran anchas fajas de escurrimiento deficitario.

En la margen argentina, el declive es suave, no así del lado uruguayo, donde la barranca es escarpada. En la planicie, alejándose del río, en ambas márgenes, la cota varía generalmente entre 50 y 60 m., según los efectos de la erosión hídrica.

En la margen uruguaya predomina la vegetación de pradera natural, en tanto la margen argentina presenta importantes plantaciones artificiales de pinos y eucaliptos formadas a partir de programas de forestación.

El embalse que cubre algo más de 150 km<sup>2</sup>, tiene forma alargada, extendiéndose lateralmente en los afluentes que presentan, en cuanto a vegetación, el paisaje característico de la selva en galería. La configuración resultante impedirá la formación de grandes olas y ofrecerá numerosas zonas de aguas tranquilas propias para el desarrollo de actividades turísticas y recreativas.

Las fuentes del río Uruguay y la zona de drenaje conexas se encuentran en una región montañosa característica del macizo brasileño, formada principalmente por rocas basálticas.

En la provincia de Entre Ríos, la roca basáltica está cubierta por sedimentos modernos. El espesor del recubrimiento crece hacia el oeste llegando a superar los 50 metros. Los depósitos típicos del lugar del emplazamiento así como de su área de influencia son limos y arenas de grano fino estratificados que ocasionalmente tienen capas lenticulares de arcilla y grava. Asimismo, sobre gran parte del territorio hay suelos de tierra negra, rica en sustancia orgánica.

Las fuentes están a más de 2.000 m., y su desembocadura en el río de la Plata está a nivel del mar. Por otra parte, la región se extiende desde los 26° hasta los 35° de latitud sur, y desde los 50° hasta los 62° de longitud oeste.

La cuenca ofrece variaciones climáticas según zonas. La temperatura media regional oscila entre 18°C y 19°C y en el área de la presa entre

15°C y 30°C (diciembre a febrero) y 5°C a 15°C (julio-agosto). Los vientos locales pueden alcanzar hasta 60 km/h y a veces superar esta velocidad.

Al norte del paralelo 30, predomina en la región un clima subtropical, mientras que al sur del mismo es templado, de tipo mediterráneo. El régimen climatológico y sus variaciones en el curso del año dependen de las masas atmosféricas que circulan en la región. Estas variaciones en el clima se reflejan en la vegetación. En la zona septentrional predominan los bosques de follaje perenne, mientras que hacia el sur se extienden las llanuras.

En las nacientes del río Uruguay, el valor medio anual de precipitaciones pluviales supera los 2.400 mm. Las mismas decrecen hacia el oeste y sur, alcanzando en el área de estudio una media anual de 1.200 mm.

En el emplazamiento de la obra la variación estacional de las precipitaciones se refleja en dos picos de crecida por año; en otoño durante los meses de abril a junio y en primavera, septiembre-octubre, se observan grandes caudales, mientras la época de verano enero-marzo es generalmente calma. En esta zona se registra un período medio de heladas que oscilan entre 5 y 36 días por año.

La zona de influencia de Salto Grande posee recursos naturales y potencial eléctrico suficientes para que planificadamente utilizados, pueda lograr un importante desarrollo agrícola-ganadero e industrial suficiente para no sólo satisfacer su propio abastecimiento, sino el de otras regiones. A esto favorecerá la culminación de importantes obras de infraestructura tales como la ruta n.º 14, el puente Zárate-Brazo Largo, etc., y el hecho de dotarla de la suficiente energía eléctrica y de un buen sistema de transporte que la comunique estrechamente con el resto del país.

La región presenta una superficie de 28.411 km² aproximadamente y una población de 358.000 habitantes, con una densidad de 12.6 habitantes por km².

Es el área de mayor cantidad de población y la que más alto crecimiento relativo ha presentado en los últimos años.

La Dirección Nacional de Ordenamiento Ambiental, de la Subsecretaría de Medio Ambiente en Argentina, ha llevado a cabo una serie de trabajos en este sector muy importantes, realmente puede decirse que son pioneros en los trabajos de evaluación de los impactos ambientales de estas grandes obras hidráulicas, en los que introducen una gran componente de ordenación ambiental del territorio, que permita lograr un uso más eficiente y racional de los recursos naturales básicos, especialmente el agua y el suelo, la flora, la fauna y otros y un equilibrado sistema de asentamientos humanos.

Esta Dirección Nacional de Ordenamiento Ambiental argentina tiene un específico programa de Evaluación Ambiental, en el que se ha incluido el análisis de impacto de obras y proyectos tan importantes como las presas de Salto Grande, Yacyretá y Paraná Medio, Dique Embalse Casa de Piedra, el Complejo ferroviario Zárate-Brazo Largo, diversas industrias y otros.

En el caso de Salto Grande ha venido trabajando desde 1975 junto con otros organismos y con la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, con objeto de concretar estudios y propuestas de acciones de control, mejora, restauración, ordenamiento y normativa referidas al desarrollo ambiental en el área de influencia de la presa.

Se prestó una atención especial al diagnóstico preliminar del área del proyecto, respecto a sus características físico-climáticas y socioeconómicas, a las actividades productivas (agropecuarias, pesqueras, mineras e industriales), al sistema administrativo de los centros urbanos y sobre todo a los asentamientos humanos afectados, así como a la propuesta concreta de actuación sobre los usos del espacio en el Lago y Perilago de Salto Grande.

La E.I.A., se realizó del siguiente modo:

1. Análisis preliminar de la situación, diagnóstico y evaluación.
2. Propuesta de desarrollo ambiental y pautas para el ordenamiento del espacio.
3. Elaboración de normas generales y particulares para usos del espacio en el Lago y Perilago de Salto Grande.
4. Preparación del anteproyecto de usos del espacio en el Perilago de Salto Grande —margen argentina— que hoy es ya una normativa promulgada del Gobierno de Entre Ríos:

— Ley n.º 6416, de 14 de noviembre de 1979 y Decreto n.º 4092/79 que desarrolla la ley anterior, de 3 de diciembre de 1979, sobre «Uso del Espacio y Preservación del Medio Ambiente en la región de Salto Grande».

Las normas propuestas definen para áreas específicas las características de:

- Zonas de reserva turística.
- Zonas turísticas recreativas.

- Núcleos turísticos.
  - Zonas deportivas.
  - Zonas urbanas existentes.
  - Zonas industriales.
  - Zonas rurales y forestales.
  - Zonas de acuicultura.
  - Zonas de protección ecológica.
  - Zonas de reserva natural.
5. Propuesta de empleo de un modelo sistemático para la generación de alternativas de usos del espacio, a partir de los componentes del medio.

Los estudios se realizaron según dos ejes primarios de desarrollo:

- El primero de ellos, supone una línea de estudios aplicados y de asistencia técnica dirigida, tanto al productor de impacto, en este caso la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, como al receptor del mismo, es decir los gobiernos provinciales, específicamente aquí, a la provincia de Entre Ríos.
- El segundo, constituye una línea interna de estudios de investigación aplicada que ejecuta el organismo, conducente al diseño del sistema instrumental, idóneo para el análisis y evaluación global y sectorial del impacto ambiental y la formulación de propuestas de acciones concretas.

En la evaluación ambiental del proyecto Salto Grande se diseñaron a nivel general y de detalle modelos simples (globales y sectoriales) como instrumental metodológico de síntesis.

Se propuso y aplicó en el marco del plan de trabajo desarrollado:

- Matrices de síntesis causa-efecto, elaboradas por el equipo que dirige MARTA S. BALDERIOTE.
- Diagrama de flujos causales.
- Técnicas de cobertura por transparencias.

En el transcurso de 1979, en coincidencia con el proceso de formación del lago y comienzo de la etapa de generación hidroenergética, se dió por concluida la etapa de ajuste del instrumental de análisis del impacto ambiental global del proyecto así como la de predicción del mismo.

En el período 1980-1983 se implementó una segunda instancia temporal del instrumental propuesto, a fin de registrar las modificaciones y en consecuencia comprobar la exactitud de las predicciones formuladas. De esta forma se dió inicio al proceso de seguimiento o monitoreo de las alteraciones provocadas en el medio ambiente, por la obra desencadenante del impacto.

Dicho seguimiento, centra su objetivo en la específica evaluación del impacto a fin de producir las recomendaciones, según niveles de responsabilidad y competencia (CTM, nación, provincias, municipios), de ajuste de las acciones de control ya iniciadas o la formulación de nuevas medidas que maximicen o minimicen los cambios detectados.

No es posible describir todos los estudios, análisis y trabajos efectuados, pero sí es importante destacar que esta experiencia ha permitido establecer una metodología que es seguida por muchos países.

El objetivo metodológico básico es la evaluación de efectos directos e indirectos, mediatos e inmediatos, la formulación de propuestas de ordenamiento y la ponderación de impacto ambiental mediante:

#### 1. Identificación causa-efecto.

- Determinación de acciones causantes, directas e indirectas.
- Determinación del medio receptor.
  - Caracterización del medio natural y antrópico.
  - Caracterización de la estructura espacial.
- Determinación de efectos.
  - Identificación de efectos primarios y secundarios.
- Determinación de acciones de adecuación.
  - Identificación de acciones directas e indirectas de programación, desarrollo, promoción, control y regulación.

#### 2. Predicción de magnitud de efectos.

- Determinación de indicadores de impacto.
- Determinación del estado de situación del área.  
Caracterización del cambio cualicuantitativo y espacial.  
Identificación de las alteraciones ambientales.
- Formulación de acciones de previsión y control.

### 3. Propuesta de Ordenamiento.

- Formulación de alternativas de desarrollo del área..
- Formulación de un modelo de Ordenamiento Ambiental.  
Diseño del instrumental para la generación de alternativas de usos del espacio.  
Diseño del instrumental jurídico de planificación.

### 4. Evaluación del Impacto Ambiental.

- Ponderación cualicuantitativa, global y sectorial.
- Estimación del costo ambiental a nivel global y sectorial.
- Ajuste del modelo de Ordenamiento Ambiental.

El programa se desarrolló con un profundo análisis del proyecto; la definición de las áreas de estudio; la identificación de la naturaleza y magnitud de los efectos; la predicción de las alteraciones ambientales; la determinación de las regiones operativas; el ordenamiento preventivo y la evaluación del impacto ambiental.

#### **CASO DE LA PRESA, EMBALSE Y CENTRAL HIDROELECTRICA DE ITAIPU (BRASIL-PARAGUAY)**

Itaipú es la central hidroeléctrica más grande del mundo, promovida por ITAIPU BINACIONAL (Brasil y Paraguay), con una potencia global de 12.600 MW. Se está construyendo, sobre el río Paraná, muy cerca de las cataratas de Iguazú y del lugar frontera entre Argentina, Brasil y Pa-

raguay. Para dar una idea de su dimensión basta decir que la superficie de la cuenca afectada por el proyecto es de 820.000 km<sup>2</sup>. El área del embalse (espejo de agua) en la cota 220 de la presa es de 1.350 km<sup>2</sup>, su longitud es de 170 km, su anchura de 7 km, y su volumen de 29.000 Hm<sup>3</sup>, lo que significa un 72 por 100 de toda la capacidad de aguas continentales reguladas en España.

La Central está constituida por 18 grupos de 700 MW cada uno, con la potencia total citada de 12.600 MW. Las turbinas son tipo Francis y la producción anual prevista es de 75.000 millones de KWh. El coste de esta enorme obra es de 14.000 millones de dólares USA.

En estas obras han llegado a trabajar hasta 40.000 hombres y cuando se visita este aprovechamiento produce una impresión realmente asombrosa, porque además de su dimensión espectacular y de las grandes dificultades que supone domeñar un río como el Paraná, se trata de un lugar bellísimo, en una zona subtropical de singulares características.

La altura de la presa es de 176 metros y la altura de caída, 120 metros. El nivel de agua máximo normal del embalse está en la cota 220 m., el caudal medio anual del Paraná es de 8.463 m<sup>3</sup>/s y su velocidad (para el caudal medio) 2 m/s. La profundidad (caudal medio) es de 35 metros.

El caudal máximo registrado es de 28.400 m<sup>3</sup>/s y el mínimo registrado, 2.850 m<sup>3</sup>/s. El caudal previsto para el vertedero es de 58.000 m<sup>3</sup>/s.

Es un aprovechamiento conjunto de Brasil y Paraguay, puesto que el río Paraná es frontera de ambos países. Para realizar el proyecto, llevar a cabo la construcción y efectuar la explotación de la Central y cuidado de la zona de influencia se constituyó por Brasil y Paraguay, a partes iguales, la entidad ITAIPU BINACIONAL, que es la promotora de esta enorme obra.

La formación de este embalse ha producido una importante transformación de la ecología de la zona. Este cambio se había previsto y considerado desde el momento en que comenzó el proyecto y por ello se incluyó en el mismo la preservación y conservación del medio ambiente en el área del aprovechamiento hidroeléctrico, incluido su embalse.

En 1975 se elaboró un Plan Básico para Conservación del Medio Ambiente, cuyo objetivo primordial fue la consideración de los problemas ambientales producidos por la obra y los que puedan afectar al funcionamiento de la Central, procurando atenuar el impacto resultante, así como la definición de los proyectos generales de uso múltiple del embalse.

Los estudios sobre el medio físico se han referido a la localización geográfica, el clima, la hidrología, la geología y la geomorfología.

De los aspectos vinculados con el medio biológico se han analizado la biología terrestre, flora, tipos secundarios de vegetación, fauna, biología acuática y piscicultura.

En las consideraciones sociales se han estudiado los aspectos socioeconómicos, usos de la tierra, lugares históricos y arqueológicos y los importantes aspectos de salud pública y epidemiología.

Los objetivos definidos para este aprovechamiento han sido los siguientes:

- Producción de hidroelectricidad.
- Abastecimiento de agua a poblaciones e industrias.
- Navegación.
- Control de crecidas.
- Riegos.
- Piscicultura.
- Usos recreativos.

En 1975 se comenzaron los estudios sobre:

- La calidad de las aguas del río Paraná y sus tributarios.
- Las peculiaridades de las especies pesqueras encontradas en el río.
- El clima de la región.
- La constitución del suelo.
- La flora y un importante proyecto de reforestación.
- La fauna.
- Los problemas de salud y ecología, con especial atención a las enfermedades parasitarias.
- La preservación de las tradiciones culturales y los lugares históricos y arqueológicos.

Se efectuaron una serie de inventarios para establecer el diagnóstico de la situación preoperacional. Entre ellos, destacan los siguientes:

### 1. Estudios hídricos y climáticos

Determinación de la calidad de las aguas del río Paraná y de sus tribu-

tarios y su nivel de contaminación. Con este fin, se realizan análisis mensuales, operando con parámetros físicos, químicos y biológicos.

Se analizó también el transporte anual de sedimentos en el Paraná y en sus tributarios.

Está previsto realizar estudios limnológicos de las aguas del embalse.

Se han estudiado ampliamente los datos climatológicos de la zona.

### 2. Inventario forestal y proyecto de reforestación

El inventario forestal y el proyecto de reforestación ha sido uno de los aspectos más cuidados del programa ambiental. Se empezó inventariando detalladamente toda clase de plantas, tanto en el área a inundar, como en las zonas ribereñas del embalse.

Se encontró que en 1974 en la margen derecha, Paraguay, el 92 por 100 del territorio estaba cubierta por una estrecha franja de bosque rica en maderas aprovechables, incluso con algunas especies de árboles raras. En cambio, en la margen izquierda, Brasil, el 75 por 100 del área había sido deforestada y de ella, la mitad se había transformado en propiedades agrícolas. Sólo un 8 por 100 de la zona estaba cubierta con bosque.

Esta deforestación se intenta corregir, en la margen izquierda con una plantación masiva, el proyecto Gralha Azul, en grandes zonas del peligro del embalse y en las islas que se formarán en su interior.

De acuerdo con estos objetivos, el programa de reforestación se ha dividido en dos subprogramas:

- El primero pretende conservar la floresta existente en la zona del borde del embalse.
- El segundo contempla la reforestación total del territorio desnudo existente en el entorno del embalse y de las islas que eventualmente se puedan formar.

En la labor de reforestación se prestará especial atención al empleo de especies nativas, sobre todo las exóticas, y que constituyan un buen hábitat para la fauna y vida silvestre.

También se plantarán especies de crecimiento rápido que impidan la erosión del suelo. Téngase en cuenta que se trata de zonas subtropicales. Existe un amplio programa de viveros forestales en ambas márgenes, lado paraguayo y lado brasileño.

La franja vegetal de 500 metros, alrededor del embalse, aportará numerosos beneficios; entre ellos cabe citar:

- Preservar la calidad del agua de los ríos.
- Proteger las márgenes de los afluentes de la presa, contra la obstrucción y erosión.
- Acoger una importante fauna silvestre que necesita esta vegetación y su hábitat para sobrevivir.
- Contribuir al control ecológico de enfermedades endémicas, gracias a la existencia de variedades botánicas muy importantes, como el control del caracol que transmite la esquistosomiasis a través de las plantaciones de eucaliptos.

### 3. Inventario faunístico

En el inventario faunístico realizado en la margen derecha, territorio paraguay, se hizo un trabajo exhaustivo para catalogar la fauna existente en el área del embalse. Se encontraron 70 especies de mamíferos, de 22 familias diferentes y 252 especies de pájaros pertenecientes a 54 familias distintas. También se identificaron 1.600 especies de insectos.

Al mismo tiempo se observaron sistemáticamente las formas de vida y nutrición de las principales especies.

En las áreas de seguridad del perilago hay dos refugios biológicos, Itavó y Limoy en la margen derecha (Paraguay) y los de Bela Vista y Santa Helena en la margen izquierda (Brasil). Estos lugares se han preparado para recibir animales y plantas representativos de los que existían dentro de la Poligonal Envolvente, que es el área ocupada por el embalse.

### PROYECTO MYMBA-KUERA

Un proyecto destacado es el denominado Mymba-Kuera destinado a proteger la vida silvestre de la región, especialmente la fauna local.

Mymba-Kuera significa «fauna» en tupi-guaraní.

El proyecto Mymba-Kuera pretende reducir el impacto sobre la fauna local de la presa y el embalse. Los animales que vivían en el área inundada se trasladarán a refugios biológicos en donde quede garantizada su sobre-

vivencia. Este proyecto se ha dividido en tres etapas, correspondientes a las diferentes operaciones de salvamento de la fauna, en las dos márgenes del embalse.

La primera etapa tuvo como fin la captura de los animales que perdieron su hábitat al producirse una significativa elevación de las aguas del río Paraná, represadas parcialmente por las estructuras de hormigón del Canal de Desvío y su traslado a un refugio seguro.

La segunda etapa comprendió desde 1978 a 1983 y consistió en la captura de animales en el área seca del embalse, entre el río y la cota 225, transportándolos a refugios provisionales en las dos orillas.

En la tercera fase, los animales capturados y situados en refugios provisionales, se trasladarán a los refugios biológicos definitivos establecidos en las dos márgenes, dos en el lado paraguay y otros dos en el lado brasileño, así como en las zonas repobladas de la ribera del embalse y en las islas que quedarán en el interior del embalse.

El rescate de los animales debió hacerse con cuidado y rápidamente ya que la velocidad de subida de las aguas fue muy grande.

Se han tomado medidas también para la preservación y tratamiento en el caso de que el personal fuera atacado por los ofidios, puesto que las serpientes venenosas y los escorpiones también son desalojados.

La última parte del proyecto Mymba-Kuera será el rescate de reptiles, anfibios, mamíferos y ocasionalmente pájaros, dándose a cada grupo de animales el tratamiento adecuado.

### 1. Inventario Ictiofaunístico

Dentro del contexto de la evaluación del impacto ambiental de este aprovechamiento, Itaipú Binacional llevó a cabo un inventario sobre los recursos pesqueros del río Paraná.

Este estudio requirió la captura de casi 7.830 peces, pertenecientes a 129 especies de 25 familias.

Se analizaron las características del medio actual y del futuro para la ictiofauna.

### 2. Inventario arqueológico

El inventario y trabajos arqueológicos fueron también muy importantes, con hallazgos muy interesantes, sobre todo en el lado paraguay. Des-

de 1975 a 1982 se habían registrado 210 lugares arqueológicos y las piezas encontradas son más de 140.000.

### 3. Inventario médico-sanitario

Este aspecto ha recibido gran atención, especialmente en la elaboración de programas de lucha contra algunas enfermedades endémicas en la zona, como:

- Malaria.
- Paludismo.
- Esquistosomiasis.
- Mal de Chagas.

Los municipios del área de influencia del embalse están recibiendo asistencia sanitaria y se está llevando un control sobre el suministro de agua, la recogida de residuos sólidos y líquidos de las comunidades rurales y urbanas en la periferia del embalse.

Una vez efectuados los inventarios citados se han estudiado las medidas mitigadoras de los efectos sobre el medio ambiente en el área física, biológica y social.

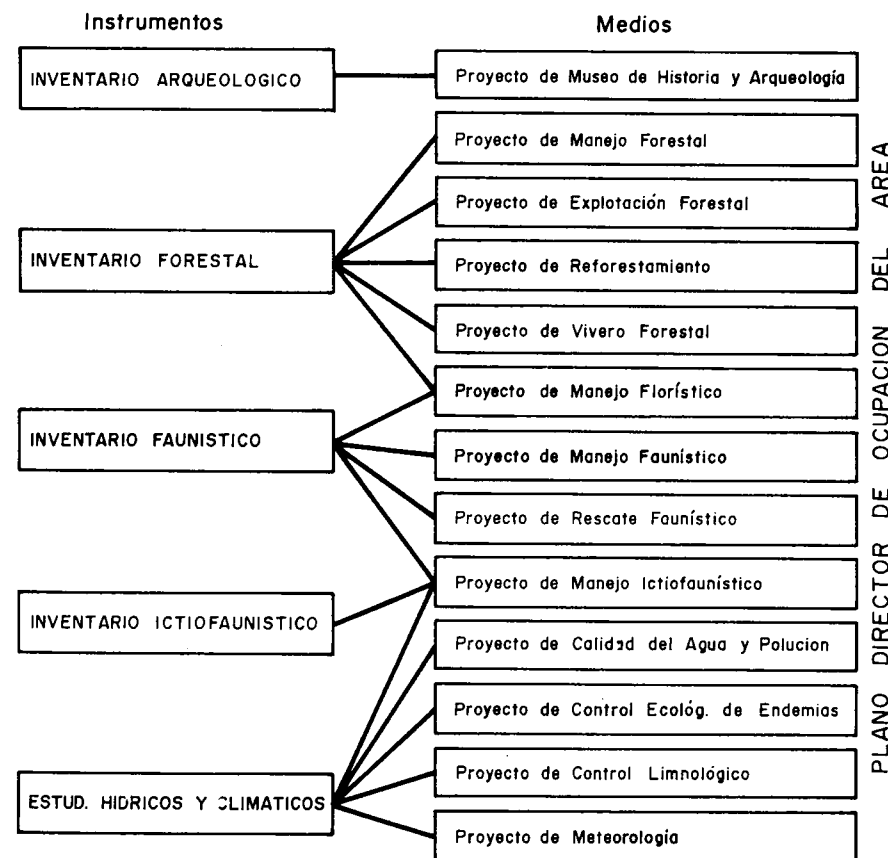
Se ha procurado también crear zonas verdes y recreativas en las áreas habitacionales construidas por Itaipú Binacional, que en las dos márgenes totalizan once grupos residenciales, con 9.515 viviendas.

La zona se presta para un buen desarrollo turístico, teniendo en cuenta además que está a unos 30 km., de las cataratas de Iguazú, uno de los lugares más hermosos de la tierra.

#### *Plan director de ocupación del área*

Se ha previsto también elaborar un plan de ocupación del área, con base en las características físicas, fragilidad ecológica y cubierta vegetal de la región.

En el diagrama siguiente se indican los estudios, inventarios y proyectos que configuran el plan básico para conservación del Medio Ambiente de la presa y embalse de Itaipú y su zona de influencia.



### CASO 3

#### **EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UNA PLANTA DE CEMENTO**

La evaluación del impacto ambiental de una fábrica de cemento es uno de los casos más sencillos, puesto que se limita casi a enjuiciar las tecnologías y la adopción de las medidas precisas para reducir la contaminación.

En la industria del cemento los efectos sobre el medio ambiente pueden reducirse a la contaminación atmosférica. En estas industrias un factor clave es su localización.

La contaminación de las cementeras es tan espectacular, cuando no operan bien, que casi siempre se asocian estas plantas con los grandes focos contaminantes de la atmósfera.

En el caso de las cementeras suelen efectuarse estudios de impacto ambiental parciales. Tampoco es frecuente poder incluir alternativas en la evaluación, ni de emplazamiento, ni de procesos, capacidad u otros factores, ya que generalmente se trata de proyectos ya definidos y localizados en un determinado lugar.

El contenido y metodología que se sigue es la siguiente:

- a) Evaluación del medio en estado preoperacional de la planta o estado cero del proyecto, con el fin de valorar los niveles de alteración existentes y determinar la contaminación de fondo existente.
- b) Estudio del proyecto: materias primas, proceso, balance de mate-

riales, medidas correctoras necesarias, medidas correctoras previstas, chimeneas e instrumentos de control.

- c) Cálculo de la incidencia de la cementera en el medio: determinación de los impactos netos.
- d) Estudio de la capacidad del medio para absorber estos impactos.
- e) Aceptación del proyecto en su situación actual o introducción de mejoras o modificaciones.

## MATERIAS PRIMAS

Las materias primas utilizadas para fabricar cemento, de las que hay más de treinta compuestos, pueden agruparse en cuatro componentes básicos: cal, sílice, alúmina y mineral de hierro.

Para obtener una tonelada de cemento hay que emplear 1,6 toneladas de materias primas, sin incluir el combustible (carbón o fuel-oil).

Aproximadamente un 35 por 100, en peso, de las materias primas introducidas en el horno de calcinación es eliminado en forma de  $\text{CO}_2$  y vapor de agua, debido al proceso de decarbonatación que tiene lugar.

Las materias primas se trituran y almacenan por separado y se someten a un nuevo proceso de molienda antes de dosificarse y mezclarse en la forma y cuantía precisa para la obtención del clinker en función del proceso que se emplee, vía seca o vía húmeda.

En el proceso por vía seca se reduce el contenido de humedad de las materias hasta que sea inferior al 1 por 100, mediante su secado antes o durante la operación de molienda. Después estos materiales son pulverizados y ésta es la alimentación del horno rotativo.

La sustitución de petróleo por carbón que se ha efectuado en muchas cementeras hace falta tomar en consideración las emisiones de contaminantes adicionales procedentes de este combustible, tanto partículas sólidas como  $\text{SO}_2$ .

## Descripción del proceso

En la FIGURA 33, se presenta un diagrama de bloques en el que se muestra los diferentes procesos de fabricación. El proceso más empleado es el denominado vía seca, siguiéndole a continuación el denominado vía semisecca. En esencia el proceso empleado en la fabricación de los diversos tipos

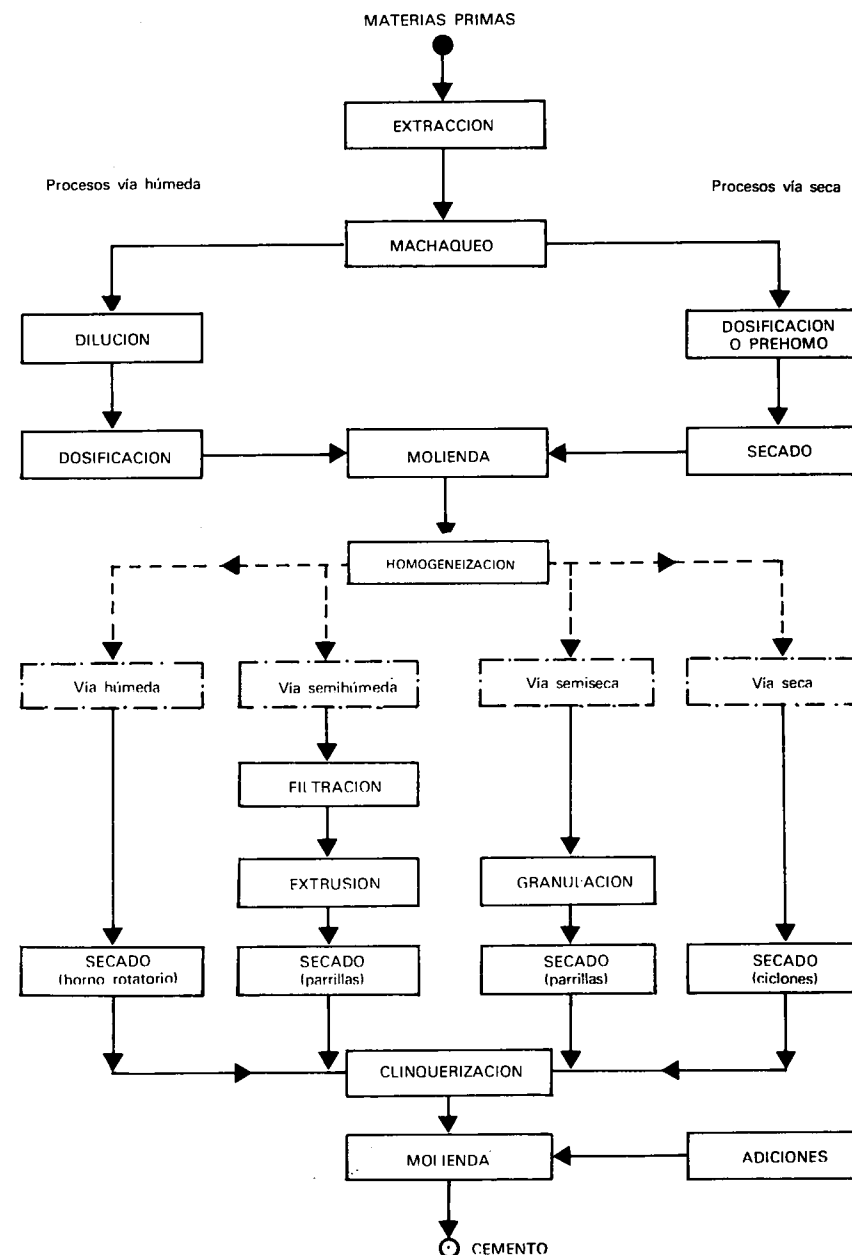


FIGURA 33.—Fabricación de cemento. Procesos.



los silos de cemento están sometidos a presión a consecuencia del desplazamiento del aire durante la operación de carga. En las instalaciones modernas, el aire desplazado cargado de polvo se extrae haciéndolo pasar por un filtro de mangas, desde el que se descarga a la atmósfera.

Durante las operaciones de secado de la materia prima las concentraciones de polvo pueden ser del orden de 10 a 25 g/ m<sup>3</sup>N. En los casos en que los gases de salida del horno de clinker se emplean para el secado se obtienen concentraciones más altas, debido a la carga de polvo que dichos gases arrastran. Al igual que el horno de clinker, el secador es una de las fuentes principales de emisión de polvos y exige la incorporación de un sistema colector de partículas diseñado para altas temperaturas. En los procesos combinados de secado y molienda se desplazan cantidades de 1.000 a 3.000 m<sup>3</sup> de aire por tonelada de crudo, lo que supone que las concentraciones de polvo en los gases de salida pueden llegar a los 100 g/m<sup>3</sup>N.

El horno de calcinación es la mayor fuente de emisión de las plantas de cemento. Estos hornos son grandes cilindros de acero, recubierto interiormente de refractarios y cuyo tamaño oscila entre 1,8 m., de diámetro y 18 m., de longitud y 7,5 m., de diámetro por 230 m., de longitud. El horno es horizontal y tiene una pequeña pendiente, del 3 al 6 por 100. La alimentación de la materia prima cruda, seca o húmeda, se hace por la parte final y a medida que la carga avanza por el horno se somete a temperaturas cada vez más altas, alcanzando al final del recorrido un incipiente punto de fusión, a unos 1.600°C. Estas temperaturas se logran con la combustión de carbón, fuel-oil o gas en la parte inicial y más baja del horno.

Gran parte de las cementeras han pasado a utilizar carbón en lugar de fuel-oil, con el fin de ahorrar productos petrolíferos, lo que ha acentuado la emisión de contaminantes procedentes de este foco.

La industria del cemento ha utilizado captadores de polvo de los gases de emisión siempre, porque si no perdería una parte importante de la producción, entre el 1,5 y 2 por 100. Una planta, con hornos de vía seca, que tenga una producción de 3.000 t/día, sin buenos captadores, perdería unas 60 t/d de clinker que sería arrastrado en la emisión de los gases del horno; además de los graves problemas que crearía en su entorno.

El polvo que se produce en esta etapa tiene partículas de tamaño inferior a las 10 micras, por lo que los ciclones —colectores mecánicos o de inercia— no tienen la eficacia suficiente para depurar los gases. Los precipitadores electrostáticos o los filtros de mangas, frecuentemente dispuestos en serie con colectores mecánicos, pueden recoger eficazmente el polvo

fino del efluente. En general se utilizan electrofiltros. El desarrollo de los filtros de mangas de fibra de vidrio siliconada permite la eliminación del polvo de los gases calientes procedentes del horno de clinker principalmente en el proceso por vía seca, si la utilización de electrofiltros plantea algún problema.

Los sistemas colectores tienen rendimientos del 98 por 100 y mayores.

## MEDIDAS CORRECTORAS

La emisión de polvo se puede controlar en parte durante las operaciones del horno ajustando las condiciones del proceso y el diseño para que dicho polvo permanezca en el interior del mismo.

Se han desarrollado técnicas para la reintroducción en el horno de clinker del polvo recogido en los sistemas de captación.

El polvo que no puede reciclarse puede emplearse en agricultura o en los fertilizantes en sustitución de la caliza.

La tecnología disponible para su aplicación en la reducción de la contaminación atmosférica puede agruparse en dos apartados, uno destinado al control de partículas y otro para la depuración de gases, siendo común a ambos el uso de lavadores húmedos.

Estos apartados son:

<i>Control de partículas</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Separadores mecánicos por fuerza de gravedad o centrífuga.</li> <li>— Precipitadores electrostáticos.</li> <li>— Filtros de tejido o de mangas.</li> <li>— Lavadores húmedos.</li> </ul>
<i>Control de gases</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>— Lavadores húmedos.</li> <li>— Incineración.</li> <li>— Oxidación o combustión catalítica.</li> <li>— Absorción.</li> </ul>

### Control de polvo en el molino-secador

Antes de su introducción en el horno, y especialmente en el proceso por vía seca, los materiales deben secarse cuidadosamente. También es necesaria una molienda fina para favorecer, por una parte, el secado y, por otra, la calcinación posterior en el horno.

Hoy se ha generalizado el empleo de los molino-secadores, que muelen y secan simultáneamente las materias primas. Los volúmenes de aire que se manejan son del orden de 1.000 a 3.000 m<sup>3</sup>/t de materias primas y la concentración de polvo en los gases de salida es del orden de los 100 g/m<sup>3</sup>, lo que exige una buena depuración.

En los casos de los hornos por vía semi-húmeda, el secado se efectúa con aire caliente y seco, que se carga de humedad a temperaturas comprendidas entre 50° y 150°C. Como la resistencia de los polvos es baja, el gas puede depurarse con precipitadores electrostáticos. Este tipo de instalación de depuración se emplea corrientemente para hacer frente a las crecientes exigencias de reducción de los niveles de emisión.

En los hornos por vía seca, en los que el secado es más intenso, los gases calientes y secos procedentes de los ciclones, de la torre intercambiadora de calor y del horno de calcinación, deben emplearse para alimentar el molino secador. De acuerdo con la marcha de las operaciones, los gases procedentes del intercambiador se dirigen total o parcialmente al molino secador cuando éste funciona o, en caso contrario, antes de pasar por el electrofiltro a una torre de acondicionamiento donde se rebaja la temperatura y aumenta el grado de humedad para disminuir la resistencia.

### Control de polvo en los hornos de calcinación

Los hornos constituyeron el primer campo de aplicación de los precipitadores electrostáticos que se introdujeron en esta industria en 1912 y hoy casi monopolizan el proceso de depuración de los gases residuales. Los electrofiltros tienen la ventaja de que permiten seleccionar los polvos ricos o pobres en álcali en función del avance de los gases por el depurador electrostático.

Según tipo de horno la depuración presenta las siguientes características:

#### a) Depuración en hornos por vía húmeda

En un principio, los hornos se diseñaron para tratar la harina cruda húmeda de acuerdo con los llamados procedimientos de vía húmeda. Por

tanto, el sistema de depuración electrostático es fácil, ya que los gases a temperaturas comprendidas entre 120° y 380° C, están lo suficientemente húmedos para que la resistividad de los polvos sea inferior a 10<sup>11</sup> Ω cm lo que permite una buena ionización de las partículas.

#### b) Depuración en hornos por vía semi-húmeda

En los procesos por vía semi-húmeda o semi-seca, con secado parcial de la harina cruda (horno Lepol, Kalcinator, etc), la depuración electrostática es factible a condición de que los gases no sobrepasen una temperatura del orden de los 180°C, pues de lo contrario, la resistividad del polvo aumentaría demasiado. En estas condiciones pueden conseguirse rendimientos en la depuración superiores al 98,5 por 100, lo que permite una presencia de partículas en los gases de emisión inferior a 100 mg/m<sup>3</sup>N.

#### c) Depuración en hornos por vía seca

Los recientes progresos en la homogeneización del crudo han dado paso al proceso por vía seca integral, con hornos de intercambio de calor provistos de ciclones (hornos Doppel, Firestille, Humboldt, etc), y han permitido elevar las capacidades de producción hasta 4.000 t/d de clinker. Pero en este caso, y con las condiciones normales de temperatura de salida de los gases, la depuración electrostática ya no es posible.

La solución más lógica consiste en humedecer los gases rebajando la temperatura al mismo tiempo que se eleva el punto de rocío. Sin embargo, no es posible pulverizar el agua a temperaturas del orden de 200 a 300°C si los gases no brindan el volumen necesario para la evaporación total de las gotas de agua. Es preciso, pues, intercambiar una torre voluminosa de acondicionamiento previo, que lleve la temperatura comprendida entre 150°C y 180°C. En estas condiciones, la depuración electrostática es posible y se pueden obtener rendimientos del orden del 99,99 por 100 y concentraciones del polvo de salida inferiores a 50 mg/m<sup>3</sup>N.

### Control de polvo en el enfriador de clinker

El control de polvo en el enfriador de clinker no es fácil. Ni los ciclones ni los electrofiltros normales resultan adecuados ya que la resistividad de los polvos es demasiado elevada e incluso con un acondicionamiento previo no ha podido llegarse a alcanzar una resistividad favorable.

Aunque los filtros de mangas se han empleado bastante, principalmente en Estados Unidos, su utilización no siempre se ha visto coronada por el éxito debido al carácter abrasivo de los polvos. Los rendimientos que alcanzan estos filtros son muy elevados, pudiendo llegar hasta el 99,9 por 100. Las fibras empleadas en estas mangas deben fabricarse con materias resistentes a temperaturas del orden de 300°C.

Desde hace unos años se emplea con excelentes resultados para el polvo, y sin que se planteen problemas de aglomeración, un tipo perfeccionado de este depurador, denominado filtro D.S., constituido por varias celdas en paralelo, que el gas recorre de arriba a abajo a través de un lecho de grava calibrado en el que se deposita el polvo. Cuando aumenta la presión en una celda se interrumpe la entrada de gases y el aire en contracorriente barre por fluidificación el polvo que cae a un compartimento del que se descarga periódicamente; este sistema permite reducir el contenido de polvos a la salida hasta 50 mg/m<sup>3</sup> N.

### Control de polvo en el molino de cemento

En las operaciones de fabricación de cemento, el molino de cemento es una de las últimas fuentes de emisión de polvo.

En este caso, la depuración con filtros de mangas es la más generalizada, pues permite obtener rendimientos elevados aunque siempre con los inconvenientes que caracterizan a este tipo de depuración, y entre los que cabe citar los elevados gastos de explotación y mantenimiento.

Por último, existen los problemas de contaminación de los locales de fabricación. Por regla general para eliminar el polvo, el aire se capta en los puntos de origen de polvo y se depura en un filtro de mangas, ya que se trata de caudales reducidos que no justifican el empleo de un electrofiltro.

### Factores y niveles de emisión

Los factores de emisión que se utilizan son los siguientes:

Proceso	Contaminante	Factor
Hornos (vía seca)	Partículas	122 (kg/t)
	Oxidos de nitrógeno	3 (kg/t de combustible)

Molinos (vía seca)	Dióxido de azufre	14 (kg/t de combustible)
	Partículas	48 (kg/t)
Hornos (vía húmeda)	Partículas	144 (kg/t)
	Oxidos de nitrógeno	3 (kg/t de combustible)
	Dióxido de azufre	14 (kg/t de combustible)
Molinos (vía húmeda)	Partículas	16 (kg/t)

En España los niveles máximos permisibles son los siguientes: (Decreto 833/1975 que desarrolla la Ley de Protección del Ambiente Atmosférico).

Contaminante	Límites de emisión
<i>(Partículas)</i>	
Hornos de cemento	150 mg/Nm <sup>3</sup> (1)
Enfriador de clinker	50 mg/Nm <sup>3</sup>
Machacadores, molinos, transportadores y ensacadores.	150 mg/Nm <sup>3</sup>
Opacidad	10 % (2)

Al estimar las emisiones de SO<sub>2</sub> hay que tener en cuenta que al tratarse de productos alcalinos, una parte de los óxidos de azufre se incorporan al producto. Si se utilizan filtros de mangas, se absorbe un 50 por 100 del SO<sub>2</sub> en los polvos captados.

Asimismo en la estimación del SO<sub>2</sub> hay que incluir el procedente de la oxidación del azufre presente en el combustible y del que pueda existir en el mineral.

Como puede observarse, las medidas correctoras no son difíciles ni de estimar ni de diseñar o construir, pero sí tienen un costo muy alto.

En resumen, en la evaluación se procede del siguiente modo:

1. Estudio de la planta; proceso, materias primas y servicios, para

(1) Se admitirá una tolerancia de 1.000 mg/Nm<sup>3</sup> durante 48 horas consecutivas. Las instalaciones de depuración no podrán funcionar incorrectamente más de 200 h/año.

(2) En todas las fuentes.

identificar los contaminantes mediante evaluaciones teóricas en primera aproximación, utilizando los factores de emisión que se indican, y si existen plantas con equipos semejantes mediante toma de muestras de los efluentes y análisis de las mismas o mediante el empleo de los datos fiables de que se disponga.

Esta primera evaluación es necesaria para conocer el volumen de vertido global, para seleccionar el equipo de control, que será más o menos eficiente según la situación del medio.

2. Estudio de las características geobiofísicas y socioeconómicas de la zona en que se va a ubicar —o está ubicada— la planta.
3. Estudio específico de las condiciones micro y mesometeorológicas del lugar y topografía del mismo, para efectuar el correspondiente estudio de dispersión de contaminantes.
4. Conocer las disposiciones legales que afectan a la industria, en materia ambiental, tanto la legislación nacional o autonómica como las ordenanzas municipales, si existen.
5. Estudio detallado de los datos y estudios anteriores.
6. Con los datos anteriores establecer los criterios de diseño del sistema o equipos de control, adoptando las medidas correctoras precisas, pero optimizando costos y soluciones.
7. Determinar el sistema de medida de emisiones y, si procede, el de inmisiones para vigilar la calidad del aire en el entorno de estos focos.
8. Una vez conocidas las medidas correctoras, calcular los impactos residuales y la incidencia global del proyecto sobre el medio.

## CASO 4

### EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UNA CENTRAL TERMONUCLEAR

Estos son los estudios de impacto ambiental más costosos y extensos.

En estos análisis de impacto ambiental se opera con un enorme margen de seguridad, lo que no sucede en ningún otro sector. Por ejemplo, los estudios de dispersión se realizan partiendo de una carga contaminante en la emisión que es la que cabe esperar del funcionamiento normal de la nueva planta. En cambio, en las centrales nucleares esta carga contaminante (en forma de actividad radiactiva, expresada en curios) está enormemente mayorada, por cuanto se opera con la actividad que supondría el que se produjera el mayor escape verosímil de productos de fisión, o sea, en caso de accidente, no en régimen de operación normal.

Como ya se ha indicado, un aspecto clave de las E.I.A., es el análisis y comparación de las alternativas al proyecto o acción, que en este caso serían variantes o alternativas de emplazamiento, potencia, empleo de diferentes combustibles y tecnologías y otras condiciones. Sin embargo, en España esta parte de la evaluación queda reducida a algunas consideraciones, por cuanto existe un Plan Energético Nacional, que incluye el correspondiente Plan Eléctrico y dentro de él, el Programa Nuclear, definido.

La generación de estrategias o evaluación de alternativas resulta en este caso una condición fija en la evaluación. Por tanto, las alternativas a considerar son pocas:

La primera alternativa consiste en valorar la opción de «no hacer na-

da», es decir, el estudio del medio en la situación actual, *sin* el proyecto. A esta alternativa se la llama situación cero o fase preoperacional.

Otras alternativas consideran diferentes localizaciones del proyecto, capacidades y una gama de posibles medidas correctivas a utilizar, en función del potencial impacto ambiental. Pero también estas posibilidades son escasas porque el emplazamiento, potencia, número de grupos y otras condiciones de la Central vienen dados.

La evaluación del impacto ambiental en centrales nucleares tiene una gran componente de seguridad. Es decir, el factor clave es la seguridad y protección radiológica; de ahí los criterios de protección radiológica a que se deben ajustar los proyectos y el funcionamiento de las centrales, regulados extensamente en la correspondiente legislación.

## METODOLOGIA

Se considera que la Evaluación de Impacto Ambiental debe considerar los siguientes capítulos:

- 1.º Descripción de la zona de ubicación de la central, haciendo el estudio de las condiciones existentes y de las características particulares de los factores y elementos del ambiente.

El diagnóstico del medio en la fase preoperacional, permite elaborar el Inventario Ambiental, en el que se estudian detenidamente los principales factores ambientales.

- 2.º Descripción general de la central termonuclear, con suficiente detalle como para lograr el conocimiento general de las acciones a realizar, los requerimientos de materiales, las medidas de seguridad, así como de las técnicas de control y vigilancia de la radiactividad y otros potenciales deterioros ambientales.

- 3.º Identificación, descripción y evaluación de los impactos de la central nuclear en las fases de construcción y explotación.

La metodología que se recomienda es la siguiente:

- A) Estudio detallado de las características de la central:
  1. Tipo de reactor.

2. Grupos existentes.
3. Potencia eléctrica y térmica del grupo o grupos.
4. Ampliaciones futuras previstas.
5. Centrales de referencia; estudio de sus características.

- B) Revisión de los factores técnicos de localización: sismología, geología e hidrología, meteorología, topografía, recursos hidráulicos para suministro de agua de refrigeración, estudios de infraestructura (accesos y comunicaciones, líneas de transporte de energía eléctrica, distancia a centros de consumo).

- C)
  1. Estudios específicos de meso y micrometeorología de la zona, e hidrológicos, si los vertidos líquidos son recibidos por un río.
  2. Estudios de dinámica marina, si está junto al mar.
  3. Estudio bioecológico (especies vegetales y fauna).
  4. Radiactividad natural y contaminación de fondo existente.
  5. Retención en sedimentos y movimiento de los mismos.
  6. Breve descripción del ecosistema en que va a estar ubicada la central.

- D)
  1. Estudios de demografía local y turística.
  2. Análisis de las actividades económicas (industriales, pesqueras, agropecuarias y turísticas) de la zona.
  3. Determinación de los factores sociales y culturales.

- E)
  1. Análisis cualitativo y cuantitativo de las emisiones en funcionamiento normal de la central, según el tipo de reactor, el diseño y las características del mismo; emisión térmica y emisión de radiaciones ionizantes.
  2. Definición del mayor escape verosímil de productos de fisión.
  3. Cálculo de la actividad que escapa a la atmósfera y la de los vertidos líquidos.

4. Estudios de difusión para determinar la dispersión de los contaminantes, tanto en el medio atmosférico como en el acuático, y cálculo de los valores de inmisión (actividades) que resultan.
  5. Comparación de los valores de inmisión resultantes con los de referencia establecidos (señalados en los criterios de seguridad, de protección radiológica).
  6. Determinación de los caminos críticos por los que los radionucleidos pueden llegar al hombre.
  7. Análisis de la acción de los vertidos sobre los biotopos y biocenosis y sobre el hombre, o sea, evaluación del impacto.
  8. Estudio de medidas correctoras precisas, si procede.
  9. Recomendaciones.
- 4.º Descripción de los impactos que no pueden ser evitados, así como de las tecnologías que incluye el proyecto tendientes a minimizar los impactos ambientales.
  - 5.º Descripción de los impactos adversos que sufrirá el ambiente después de aplicar las medidas de atenuación.
  - 6.º Efectos ambientales producidos por posibles accidentes.
  - 7.º Impacto socioeconómico de la construcción y funcionamiento de la central.
  - 8.º Análisis de beneficios y costos.

Como orientación para el desarrollo de esta metodología se incluye un índice del contenido y sistemática de las Guías para la preparación de las E.I.A., de centrales nucleares, que recoge en gran parte el contenido de la Guía regulatoria 4.2, Revisión 2, de la Comisión reguladora nuclear de los Estados Unidos, referente a la preparación de Informes ambientales sobre centrales nucleares.

El objeto de estas Guías es facilitar la información para el equipo de evaluación de los potenciales efectos ambientales de una central nuclear en un emplazamiento determinado e indicar unas directrices para la presentación de los Informes Ambientales.

Esta Guía se refiere a centrales nucleares con reactores refrigerados con agua ligera.

Parte de la información que debe recoger el Informe de Impacto Ambiental, como son los aspectos de demografía, meteorología, hidrología, descripción de la Central, sistemas de tratamiento de residuos radiactivos, etc., pueden haber sido desarrollados suficientemente por el promotor en los estudios preparados para los Informes de Seguridad.

Esta información, tanto los textos como las tablas o figuras, puede incorporarse al Informe de Impacto Ambiental, si, debidamente estudiada, resulta apropiada y con el fin de evitar la duplicidad de estudios y esfuerzos.

El promotor deberá presentar la información que proceda recoger en el Informe de Impacto Ambiental de forma clara, concreta y concisa.

### **Contenido y sistemática de las Guías para la preparación de las E.I.A., de centrales nucleares**

Es conveniente disponer de una Guía para la preparación de las Evaluaciones de Impacto Ambiental de centrales nucleares. Un contenido y sistemática adecuados para estas Guías es el siguiente:

#### **Capítulo 1. Diagnóstico del medio en la zona del emplazamiento, en la fase preoperacional.** Inventario ambiental.

##### **1. Descripción del emplazamiento.**

###### **1.1. Geografía y demografía.**

###### **1.1.1. Emplazamiento.**

###### **1.1.2. Distribución de la población.**

###### **1.1.3. Usos del suelo y de las aguas en el área del entorno de la Central.**

###### **1.2. Meteorología.**

###### **1.3. Geología.**

###### **1.4. Hidrología.**

###### **1.5. Ecología.**

### 1.6. Lugares histórico-artísticos y patrimonio cultural.

### 1.7. Ruido.

## Capítulo 2. Central Nuclear.

- 2.1. Diseño.
- 2.2. Tipo de reactor y sistema de generación de electricidad.
- 2.3. Sistemas de utilización de agua de la central.
- 2.4. Sistema de refrigeración.
- 2.5. Sistemas de tratamiento de residuos radiactivos y fuentes de producción.
  - 2.5.1. Fuentes de producción.
  - 2.5.2. Sistemas de efluentes radiactivos líquidos.
  - 2.5.3. Sistemas de efluentes radiactivos gaseosos.
  - 2.5.4. Sistemas de residuos radiactivos sólidos.
  - 2.5.5. Monitoreo de proceso y efluentes.
- 2.6. Residuos químicos y biocidas.
- 2.7. Aguas sanitarias y otros residuos.
- 2.8. Informe sobre manejo y transporte de materiales radiactivos.
- 2.9. Instalaciones de transmisión de energía.

## Capítulo 3. Evaluación de los efectos ambientales en la fase de construcción de las instalaciones.

- 3.1. Preparación del terreno y construcción de la planta.
- 3.2. Construcción líneas de transmisión.
- 3.3. Recursos naturales afectados.
- 3.4. Radiactividad (ampliación plantas existentes).
- 3.5. Programa de control del impacto de la construcción.

## Capítulo 4. Efectos ambientales derivados del funcionamiento de la central.

- 4.1. Efectos de la contaminación térmica. Sistema de refrigeración.
  - 4.1.1. Limitaciones del efluente y normas de calidad del agua.
  - 4.1.2. Efectos físicos.
  - 4.1.3. Efectos biológicos.
  - 4.1.4. Impacto de las instalaciones de refrigeración.
- 4.2. Impacto radiológico.
  - 4.2.1. Patrones de exposición.
  - 4.2.2. Radiactividad de fondo.
  - 4.2.3. Dosis estimadas para la biota.
  - 4.2.4. Dosis estimadas para el hombre.
  - 4.2.5. Sumario de dosis anuales de radiación.
- 4.3. Efectos de los vertidos con cargas químicas y biocidas.
- 4.4. Efectos de los vertidos de aguas sanitarias.
- 4.5. Otros efectos.
- 4.6. Recursos naturales afectados.
- 4.7. Programa de cierre y desmantelamiento de la central.
- 4.8. El ciclo del combustible nuclear.

## Capítulo 5. Programas de vigilancia y control ambiental.

- 5.1. Programas de control preoperacionales.
  - 5.1.1. Aguas superficiales.
  - 5.1.2. Aguas subterráneas.
  - 5.1.3. Aire.
  - 5.1.4. Terreno.

## 5.1.5. Vigilancia radiológica.

- 5.2. Programas operaciones de vigilancia propuestos por el titular de la central.
- 5.3. Programas de control y vigilancia ambiental.
- 5.4. Datos de vigilancia radiológica y ambiental preoperacionales.

**Capítulo 6.** Efectos ambientales producidos por posibles accidentes.

- 6.1. Accidentes de la planta, con componente radiactiva.
- 6.2. Accidentes en el transporte con componente radiactiva.
- 6.3. Otros accidentes.

**Capítulo 7.** Impacto socioeconómico de la construcción y funcionamiento de la central.

- 7.1. Beneficios.
- 7.2. Costos.

**Capítulo 8.** Alternativas de localización.

- 8.1. Fuentes.
- 8.2. Emplazamientos.
- 8.3. Características del emplazamiento seleccionado.
- 8.4. Análisis coste-eficacia del emplazamiento seleccionado.

**Capítulo 9.** Alternativas de diseño de la central.**Capítulo 10.** Sumario del análisis coste-beneficio.**EVALUACION DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN LAS DIFERENTES FASES.**

La evaluación del impacto ambiental de la Central Termonuclear, como de cualquier otra instalación industrial u obra pública debe realizarse para las tres fases siguientes:

- a) Durante la construcción.
- b) En funcionamiento, normal y en caso de accidente.
- c) A largo plazo.

Los impactos debidos a la construcción son los normales en cualquier construcción importante ya sea industrial u obra pública y se refiere a las operaciones necesarias para la preparación del terreno, obra civil y montaje de la planta, así como a la construcción de las líneas eléctricas de transmisión.

Una vez efectuado el diagnóstico del estado del medio en la fase preoperacional y el análisis de los factores ambientales y las condiciones del entorno, se dispone ya del INVENTARIO GENERAL.

Paralelamente los equipos de Tecnología Nuclear habrán analizado los diferentes componentes de la Central y los estudios básicos preparados para la selección del emplazamiento.

A partir de ahí se efectúa el estudio casuístico de los Impactos Radiológico y Térmico y sus efectos sobre el hombre, los ecosistemas y el mar, si la Central está ubicada en la costa.

Se inicia, pues, el proceso de evaluación propiamente dicho revisando los estudios preparados para la selección del emplazamiento, en los que se atiende básicamente a la emisión de calor y a la de radiaciones ionizantes.

**Factores básicos del Medio Ambiente**

Para la elaboración del Inventario Ambiental se estudiarán los siguientes factores ambientales:

**A.1. MEDIO FISICO****A.1.1. CLIMA**

- Temperaturas.
- Precipitaciones.
- Vientos.
- Corrientes y Mareas (si procede).
- Evaporación y evapotranspiración.

**A.1.2. TERRENO: RELIEVE Y SUELOS**

Topografía y Geomorfología.

Geología y sismos.

Litología.

Edafología.

### A.1.3. HIDROLOGIA

Red hidrológica.

Aguas subterráneas.

Escorrentías.

## A.2. OCEANOGRAFIA (si se localiza junto al mar)

### A.2.1. TRABAJOS HIDROLOGICOS

#### A) Parámetros físicos.

Se determinarán: Temperatura del agua a diversas profundidades.

Estructura térmica.

Densidad.

Salinidad.

Corrientes.

Mareas.

Transparencias.

#### B) Parámetros químicos.

Se determinarán: Oxígeno disuelto.

Materia orgánica particulada.

Nitratos.

Nitritos.

Fosfatos.

### A.2.2. ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES DEL SISTEMA PELAGICO

a) Fitoplancton: Especies, biomasa (clorofilas).

b) Zooplacton: Especies, biomasa (peso seco).

c) Ictioplacton.

### A.2.3. ESTUDIO DE LAS COMUNIDADES DEL SISTEMA BENTICO

a) Macrofitos: algas y fanerógamas marinas

b) Invertebrados: crustáceos, moluscos principalmente, especies y abundancia.

c) Vertebrados: peces, especies y abundancia.

## A.3. ECOLOGIA

### A.3.1. DESCRIPCION DE LOS ECOSISTEMAS

Especies animales y vegetales.

Estructuras y patrones.

### A.3.2. FUNCIONAMIENTO DE LOS ECOSISTEMAS

— Factores predominantes del medio físico.

— Productividad primaria.

— Productividad secundaria y red trófica.

### A.3.3. CONSERVACION Y CONTAMINACION

— Ecosistemas conservados.

— Evaluación de la alteración.

— Determinación de la capacidad de acogida.

— Medida de la contaminación en los ecosistemas y vías de alteración.

— Análisis de contaminantes en productos naturales que entran en la dieta humana.

### A.3.4. MODELO DE RELACIONES EN LOS PRINCIPALES TIPOS DE ECOSISTEMAS DE LA REGION.

- Bosque o zonas arboladas.
- Monte bajo.
- Pastizal.
- Cultivos.
- Zonas húmedas.
- Embalses.
- Río.

## A.3.5. MODELO GLOBAL

## A.3.6. MONITOREO BIOLOGICO

## A.4. MEDIO HUMANO. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS Y CULTURALES

- Población.
- Vivienda.
- Empleo.
- Servicios comunitarios y equipamientos.

**Factores ambientales**

Es evidente que en un análisis de impacto no se han de considerar todos los factores ambientales citados, pero sí es muy útil tener unas amplias y largas listas de factores ambientales para utilizarlas como listas de control, o sea, listas de referencia, en la identificación de impactos y de ahí seleccionar los implicados en la acción o proyecto analizado, que en el caso de las Centrales Termonucleares son fundamentalmente los siguientes:

- Radiactividad.
- Contaminación térmica.
- Factores hidrometeorológicos.
- Medio marino. Recursos pesqueros (si procede).
- Demografía.
- Usos del suelo.

Una vez identificados los factores ambientales afectados es preciso es-

tudiar cada uno de ellos, pero con mucha más profundidad los anteriormente citados. Este estudio se complementa con el análisis de los estudios efectuados para determinar los factores de localización:

- Estudios de demografía.
- Actividades económicas existentes en la zona: agropecuarias, industriales y pesqueras.
- Sismología.
- Geología e hidrología.
- Meteorología.
- Dinámica marina, (si la Central está junto al mar).

**INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL**

En la evaluación del impacto ambiental de Centrales Nucleares los indicadores de impacto son:

1. Radiactividad.
2. Contaminación térmica.
3. Indicadores biológicos. Si las Centrales están junto al mar, recursos pesqueros, utilizando alguna especie característica de la zona.

*Identificación de áreas ambientalmente sensibles*

Describir y mostrar en un mapa escala 1:250.000, las siguientes áreas que puedan ser «significativamente» afectadas por la instalación de la Central Nuclear, así como criterios utilizados para la descripción:

- Zonas húmedas y estuarios.
- Areas de recarga de acuíferos.
- Bosques y tierras arboladas.
- Hábitats de especies raras o en peligro de extinción.
- Areas geológicas únicas.

- Areas públicas para recreación al aire libre.

#### *Medio humano*

Se considerará un entorno de 30 km., de radio con centro en el lugar de emplazamiento de la Central).

#### Aspectos socioculturales:

- Comunidades principales.
- Población total y su tendencia.
- Pirámide de edades.
- Estructura social.
- Patrones de vida.
- Infraestructura y servicios.
- Sitios históricos o arqueológicos.
- Sitios de interés turístico.

#### Aspectos económicos:

- Población económicamente activa (PEA).
- Ramas de actividad.
- Niveles de ingreso.
- Jornadas de trabajo.
- Actividades agrícolas y ganaderas.
- Actividades pesqueras.
- Actividades industriales.
- Servicios.
- Usos del agua.

Para la realización del diagnóstico ambiental en la fase preoperacional de la Central se utilizarán los estudios técnicos correspondientes a los factores de localización.

### **REVISION DE LOS ESTUDIOS EFECTUADOS PARA LA SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO**

La evaluación del impacto comienza con la revisión de los estudios efectuados para la selección del emplazamiento. Algunos de estos estudios pueden formar parte de la E.I.A., entre ellos de manera específica los siguientes:

- Demografía.
- Geografía (descripción del lugar del emplazamiento).
- Usos del agua y del territorio en la zona del entorno de la Central.
- Ecología, terrestre y acuática.
- Meteorología.
- Hidrología.
- Geología.
- Ruido.
- Lugares histórico-artísticos, arqueológicos, culturales o ecosistemas singulares.

Esta documentación habrá sido ya preparada por el licenciario, es decir, por la Empresa propietaria de la Central, al considerar los aspectos de seguridad de la Central propuesta, puesto que se elabora al solicitar la autorización previa, es decir, para conseguir el Informe de Seguridad Preliminar.

Esta información se incorpora a la E.I.A., tanto el texto como las tablas o figuras, para no repetir este trabajo, ahorrar esfuerzos y evitar duplicidades.

Estos estudios deben tratar cada uno de los aspectos mencionados con suficiente profundidad y acompañados de las fuentes, bibliografía e información complementaria suficiente para que el evaluador pueda efectuar una revisión de la amplitud del impacto ambiental independientemente.

La extensión del Informe ambiental dependerá de las características de la Central y sobre todo de las condiciones de su entorno. Es aconsejable incluir diagramas de flujo, gráficos, tablas y fotografías para dar una mayor claridad y brevedad al trabajo.

## **DIAGNOSTICO DEL MEDIO AMBIENTE EN LA FASE PREOPERACIONAL. INVENTARIO AMBIENTAL.**

### **DESCRIPCION DE LA ZONA DE UBICACION DE LA CENTRAL**

Esta fase de la evaluación comienza con una descripción general de la zona de emplazamiento de la Central Termonuclear, considerando los aspectos generales de geografía, demografía y usos del suelo y del agua en el entorno de la Planta.

La descripción del ambiente será la existente en la actualidad y cómo sería en un futuro próximo (cinco años) si el proyecto de la Central no fuera implementado.

Dicha descripción tiene como objeto contar con un panorama general de las condiciones físicas, biológicas y socioeconómicas del área donde se llevará a cabo el proyecto, lo cual permitirá integrar una base comparativa para detectar, describir y evaluar los posibles impactos producidos por la Central Nuclear en la zona, y sus repercusiones sociales, económicas y ambientales en las áreas de influencia.

En la medida de lo posible la información que se presente deberá recoger datos, observaciones y medidas efectuadas durante un período suficiente de años.

A continuación se indica la forma en que es conveniente presentar la información correspondiente a los estudios efectuados para la selección del emplazamiento, ya citados, de modo que sean de utilidad para efectuar el diagnóstico ambiental y la E.I.A.

#### **Descripción del lugar de emplazamiento.**

##### **Geografía y demografía**

##### *Emplazamiento*

El lugar de emplazamiento deberá especificarse por los valores de latitud y longitud, conforme a las prácticas seguidas en los mapas topográficos españoles. Se señalará concretamente la ubicación exacta del reactor.

El lugar de emplazamiento se identificará con la máxima exactitud, tanto la provincia, como la comarca y el municipio. Se señalarán también los accidentes geográficos del lugar, ríos, lagos, lagunas, zona costera, si procede, etc.

Se incluirá un mapa de la zona, escala 1:25.000, u otra escala, que permita la medida de distancias con razonable seguridad y con texto explica-

torio si es preciso, en el que figurarán claramente los siguientes datos:

1. El área propiedad de la Central perfectamente delimitada, indicando la superficie.
2. Localización de la Central en dicha área, con los límites exactos de las instalaciones.
3. Las líneas límites de la zona de exclusión del área de la Planta. Si estas líneas límite son las mismas que las correspondientes a la propiedad, deberá establecerse este extremo. Se señalará y especificará la distancia mínima del reactor a los límites del área de exclusión.
4. Localización y orientación de las principales estructuras dentro del área de la Central, indicando el lugar de los diferentes elementos (edificio del reactor, edificio de las turbinas, edificio auxiliar, edificio de almacenamiento de residuos, etc).
5. El emplazamiento de las instalaciones industriales, recreativas o zonas residenciales existentes dentro del área de emplazamiento.
6. Las líneas eléctricas de transporte de alta y baja tensión.
7. El norte.
8. Carreteras, líneas de ferrocarril, canales y otras vías de comunicación que atraviesen o estén próximas al lugar de emplazamiento.
9. Usos del suelo y de las aguas en el área del entorno de la Central.
10. Distribución de la población en el área de estudio.

La escala utilizada y la información aportada deberá ser suficiente para permitir la medida, identificación y conocimiento de cualquier distancia o elemento existente con razonable seguridad.

#### **Estudio demográfico del emplazamiento de la central nuclear. Distribución de la población**

Una de las consideraciones más importantes en estas evaluaciones de

impacto ambiental de las centrales nucleares es la del factor población en el entorno del emplazamiento previsto.

Generalmente se opera con los datos de la población fija, o sea, la residente; pero, dada la importancia que tiene en muchos casos —por ejemplo, en la costa—, la población turística, que puede ser el núcleo significativo de población, hay que considerar también este parámetro.

Para evaluar la seguridad de la población cercana a un emplazamiento se opera con las emisiones que se originan en el funcionamiento normal de la instalación y con los valores de emisiones radiactivas, en el caso de que se produjera el que definimos como «máximo accidente verosímil», por muy pequeña que sea la probabilidad de que ocurra.

Con este estudio se persigue garantizar que los individuos de la población ubicada en torno a la central no recibirían una dosis de radiación superior a la permitida tanto en condiciones normales como en el caso de accidente.

En condiciones de funcionamiento normal el parámetro a considerar es la limitación de las dosis que pueden recibir los grupos de población críticos, es decir, el grupo de individuos que puede recibir las mayores dosis genéticas.

En un accidente, la medida de seguridad se basa en la evacuación de la zona, que será siempre una zona de baja densidad de población, porque las zonas densamente pobladas deben descartarse como emplazamiento de este tipo de centrales. Esta evacuación se ha de realizar de acuerdo con un plan de emergencia previamente programado o previsto. De este modo, las dosis recibidas por los individuos que viven en la zona afectada pueden quedar dentro de los límites permitidos.

Para correlacionar ambos tipos de población —la fija y la turística— hay que tener en cuenta que esta última se diferencia de la primera por un menor tiempo de residencia y por una mayor facilidad de evacuación.

Aunque el tiempo de residencia es variable, puede ser aceptable un período de estancia entre tres meses y unas semanas para las personas consideradas individualmente. Puesto que tres meses representan 1/4 de la exposición anual, la aplicación de 1/5 al máximo de la población turística parece adecuada y bastante conservadora en su valoración con relación a la población fija.

La facilidad de evacuación es más difícil de cuantificar que el tiempo de residencia. Sin embargo, el factor antes citado parece razonablemente satisfactorio en la elaboración de planes de emergencia. Aunque no es fácil realizar una previsión del posible crecimiento de la población turística

de una zona de modo que el resultado tenga una cierta fiabilidad, es preciso efectuar este estudio y cuantificar los datos para operar con ellos en los planes de emergencia.

Por lo tanto, se puede asimilar la población turística a la población fija en la proporción de cinco a uno para evaluar los factores de seguridad de la población, lo mismo en el caso de funcionamiento normal de la Central que en los datos de base relativos al estudio de posibles accidentes.

El estudio demográfico se realiza en un área de 30 km. de radio en torno a la Central Nuclear.

Se divide el área para su estudio en 160 trapezios auxiliares, obtenidos de la división del círculo en 16 sectores de ángulo 22° 30', según las direcciones dominantes de la rosa de los vientos y radios a distancias de la Central Nuclear de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25 y 30 km.

Para los años 1970, 1975 y 1980 se siguen los datos del censo oficial de población de España y para los años 1985, 1990, 2000, 2010, 2020 y 2030, se efectúa una evaluación de la población prevista tomando como base los censos oficiales de los años 1960, 1970 y 1980, refiriéndolos en todos los casos a poblaciones de hecho.

Para los períodos relativamente cortos de 20-50 años se ha observado que el crecimiento o decrecimiento de una población se ajusta bastante a la estimación prevista mediante la ecuación:

$$P_i = P_o (1 + \alpha)^i$$

donde:

$P_i$  : población en el año  $i$

$P_o$  : cte. a determinar

$\alpha$  : tasa de crecimiento o decrecimiento de la población.

Tomando como base los censos de los años anteriormente citados y mediante un ajuste por mínimos cuadrados de la ecuación anteriormente citada para los mismos, llegamos a la expresión:

$$P_i = (P_{60} \times P_{70} \times P_{80})^{1/3} \times \frac{P_{80}^{xi/2}}{P_{60}}$$

donde  $xi$  toma los valores

Para 1960 —1

1970 0

1980 1

1990 2

2000 3

2010 4

2020 5

2030 6

En el informe se deben adjuntar los valores de las curvas de ajuste para los municipios que intersectan con el área del emplazamiento núcleos poblacionales habitados, incluyendo en el cuadro de la demografía los factores de la curva de ajuste, la población censada y la población estimada mediante el cálculo por computador, según el programa establecido para la totalidad de los municipios del emplazamiento.

Se incluyen también todos los trapecios en los que aparecen núcleos poblacionales con identificación de la dirección, distancia a la Central y la población censada y estimada para estos núcleos en los años 1970, 1975, 1980, 1990, 2000, 2010, 2020 y 2030.

En unas tablas se recopila la población en el emplazamiento de la Central Nuclear, para los años de estudio así como su distribución sectorial y distancia al emplazamiento, así como la distribución sectorial demográfica del emplazamiento y la densidad demográfica.

Como normas de seguridad, al evaluar este aspecto demográfico se aplican los siguientes criterios:

- a) La densidad de población de la zona en que haya de estar emplazada la Central no debe ser superior a 100 habitantes/km<sup>2</sup>, cuando se refiera a la población local normal, o a 500 habitantes/km<sup>2</sup> cuando se trate de población turística.
- b) La central deberá estar situada, como mínimo, a las distancias que se señalan en el CUADRO XIV en función del número de habitantes.
- c) La Central no deberá estar situada en zonas en las que exista o haya previsiones y planes concretos de un desarrollo industrial, agropecuario o turístico notable.

CUADRO XIV

**Distancias mínimas de un  
emplazamiento con respecto  
a la población fija de la ciudad**

<i>Población fija de la ciudad (miles de habitantes)</i>	<i>Distancia mínima (km)</i>
25 — 100	12-20
100 — 250	20-35
250 — 500	35-50
500 — 1.000	50-80
Más de 1.000	80

Por consiguiente, los núcleos de población de más de 25.000 habitantes en los que se supone que existen instalaciones o centros difícilmente evacuables, deben quedar a una distancia tal que no sea precisa su evacuación ni aún en el caso de que se produjera el máximo accidente verosímil.

Con objeto de determinar las dosis equivalentes individuales y las dosis equivalentes colectivas que serían recibidas por la población de la zona estudiada, se suele distribuir la población en cuatro grupos, considerándose los datos específicos del emplazamiento y sus proporciones:

Adultos	%
Jóvenes	%
Niños	%
Bebés	%

Se efectúa asimismo un estudio de la población flotante y asentamientos turísticos que podría ubicarse en un radio de 30 km, alrededor de la Central Nuclear.

Para la valoración cualitativa y cuantitativa de la seguridad del factor población, se aplican los criterios de protección radiológica y de aislamiento que examinamos a continuación.

**Criterios de protección radiológica:** Los límites de vertidos de efluentes gaseosos o líquidos y residuos sólidos se fijan como consecuencia de unas tasas de inmisión de radionucleidos o radiaciones, es decir, se limitan las emisiones a través de unos valores de inmisión.

Más adelante se exponen los criterios de protección radiológica.

**Criterios de aislamiento:** A continuación se indican los criterios de aislamiento que se siguen, a efectos de garantizar la seguridad de las personas contra los efectos de las radiaciones ionizantes de los radionucleidos liberados en caso de accidente grave en la Central. Han sido establecidos de acuerdo con las recomendaciones internacionales más estrictas sobre la materia. Hay un margen en los límites de estos criterios, según las características geográficas de la zona:

1. Se fija alrededor de cada reactor una zona bajo control de unos 1.000 metros de radio en la que no puede haber habitantes ni desarrollarse actividades industriales, agrícolas o recreativas que no hayan sido previamente autorizadas ni practicarse la pesca o los deportes acuáticos.
2. Se fija alrededor de la zona bajo control una zona vigilada concéntrica con la anterior, de 4 kilómetros de radio con una densidad de población, características y vías de comunicación tales que resulte factible la evacuación rápida de las personas que en ella habitan o trabajan.
3. Se fija alrededor de la zona bajo control otra zona, concéntrica con la anterior, de 6 kilómetros de radio, de modo que en ella no podrá existir una densidad de población fija superior a 100 hab/km<sup>2</sup> en el caso de población turística.

Se indicará también la población existente entre 30 y 80 km. Para ello se utilizará un mapa de escala apropiada y con las especificaciones convenientes, igual que el descrito anteriormente, en donde se defina la población y su distribución a intervalos de 10 km., en una radio de 30 a 80 km., a partir del reactor. Se suministrará la distribución por edad de la población prevista (adultos, jóvenes, niños y bebés) para el año correspondiente al punto medio de la vida operativa de la planta.

### Usos del suelo y de las aguas en el área del entorno de la central

En un mapa topográfico detallado se mostrará la situación del perímetro de la planta, los límites del área de exclusión, las propiedades utilizadas, las propiedades colindantes y adyacentes, pozos de agua, áreas de bosque o tierras arboladas, pastizales, granjas, residencias, establecimientos próximos, áreas comerciales, plantas industriales y cualquier otra de uso público, así como las áreas de valor histórico, paisajístico, cultural, recreacional o de interés natural; igualmente comunicaciones (ejemplo: ferrocarriles, carreteras y otras vías de comunicación). Se indicará la superficie total propiedad del solicitante y la parte de la misma ocupada por las instalaciones. Asimismo se señalará cualquier otro uso existente o propuesto si lo hubiera, de la propiedad del solicitante y la superficie dedicada a estos usos. También se describirá cualquier plan que modifique el lugar, tales como centro de visitantes o parque.

En forma tabular se anotarán las distancias desde la primera unidad nuclear prevista para cada uno de los dieciséis sectores que se describieron en el punto anterior, a los siguientes puntos:

1. Central lechera vacuna (situada a menos de 10 km).
2. Granjas de ovino (situadas a menos de 10 km).
3. Residencias más próximas (a menos de 10 km).
4. Límite más próximo.
5. Zonas verdes y recreativas importantes más próximas (a una distancia menor de 10 km).

Se indicará si las instalaciones vacunas y ovinas se dedican a lechería. Si es posible, el solicitante deberá suministrar información específica sobre el uso actual de la leche, si la leche es utilizada sin procesar para el consumo de niños lactantes o adultos, o si la leche va dirigida a una Central de transformación, y en tal caso, determinar la cantidad de leche que las Centrales dedican a productos lácteos, tales como mantequilla, yogur, quesos, etc.

Para el área de radio de 10 km, se indicará la naturaleza y extensión del uso presente y previsto del terreno (ejemplo: agricultura, ganadería, centrales lecheras, pastos, residencias, reservas naturales, santuario, áreas

de caza, industrias, recreo, transporte, etc) y cualquier indicio reciente de cambios anormales en la población o modelos industriales.

Se suministrarán datos sobre la producción anual de carne (kg/año), leche (litros/año) y productos de granja (kg/año), y la distribución dentro de un radio de 10 km., a partir del reactor propuesto.

Se proporcionará información sobre el tipo, cantidad (kg/año), y rendimiento (kg/m<sup>2</sup>) de las cosechas recolectadas, dentro de un radio de 80 km, del reactor propuesto y sobre las épocas de pastos (dar datos, regímenes de alimentación por heno, ensilaje de maíz, hierba) densidad de hierba en los pastos (km<sup>2</sup>) y estadísticas de rendimiento (km<sup>2</sup>) para la alimentación de ganado de producción cárnica o láctea, dentro de un radio de 80 km, del reactor. La población agrícola, rendimiento de las cosechas y los datos sobre pastos y alimentación, pueden ser obtenidos de fuentes tales como Cámaras Agrarias, Ministerio de Agricultura, Departamentos de Agricultura de las Comunidades Autónomas y otras fuentes competentes.

Se determinará e indicará en forma tabular el comercio pasado, presente y previsto de peces y crustáceos capturados en las aguas contiguas y dentro de un área de 80 km., del punto de descarga de la Planta.

Debe indicarse las capturas totales por embarques y por principales especies, indicando las cantidades que se utilizan como alimento humano. Indicar la situación de las principales áreas pesqueras y puertos de embarque, relacionados con estas aguas, y conectar estas ubicaciones con las capturas por especies. Se precisarán las cantidades que se consumen localmente. Incluir cualquier otra producción y uso de algas o cualquier otra especie acuática o forma de vegetación utilizada como alimento humano y procedente de estas aguas.

La información en esta sección deberá presentarse de forma tal que demuestre la compatibilidad y coordinación de las principales actividades de la instalación propuesta con los varios usos del terreno y el agua próximos a la misma. La explicación deberá incluir referencia a la reserva de derechos de paso, para cualquier futura expansión que sea previsible en el momento de la solicitud.

Sobre datos mensuales, se identificará la situación, la naturaleza y la extensión prevista de superficie dedicada a usos del agua, tanto presente como futura. Por ejemplo: embalses, depósitos de agua, riegos, instalaciones de abastecimiento, usos recreativos e industriales, dentro de un radio de 80 km, de la Planta y donde las instalaciones puedan ser contaminadas por los efluentes presentes y previstos procedentes de la Planta y la población relacionada con cada punto de salida.

Asimismo se relacionarán los Centros de Población que hagan tomas de abastecimiento o captaciones aguas abajo de la Central, indicando distancias, usos, cantidades y población. Se incluirán también datos sobre los procesos de tratamientos del agua y de las aguas residuales, si los abastecimientos de agua pueden ser afectados por los efluentes de la Planta.

### Meteorología

Esta sección deberá ser descrita mediante la presentación de una descripción meteorológica del emplazamiento y del área que lo rodea. La descripción deberá incluir al menos un ciclo anual del programa meteorológico para la solicitud de un permiso de construcción y al menos dos ciclos anuales (preferentemente tres o más años completos), incluyendo el más reciente período anual, para la licencia de puesta en marcha solicitada, además de examinar la información meteorológica adicional de la región. Se incluirán los datos suficientes para permitir evaluaciones independientes y establecimiento de las características de difusión atmosférica y los impactos de la planta sobre el medio ambiente. Se incluirá igualmente una descripción de climatología, niveles actuales de la calidad del aire y sus efectos en las operaciones de las plantas, la relación de los datos meteorológicos reunidos sobre bases regionales y locales, y el impacto del terreno local y embalses u otras masas de agua en las condiciones meteorológicas de la región.

Se presentarán los siguientes datos concernientes a la meteorología del lugar, tomados de las mediciones meteorológicas realizadas sobre el mismo y por estaciones vecinas:

1. Datos medios y extremos diurnos de temperatura, humedad y rocío.
2. Datos mensuales y anuales acerca de la velocidad y dirección del viento, junto con sus frecuencias y las medidas representativas de las características del viento para puntos de descarga a la atmósfera.
3. Frecuencias conjuntas anuales y mensuales de la dirección y velocidad del viento por clases de estabilidad atmosférica, en alturas e intervalos de importancia para el transporte atmosférico de efluentes.
4. Precipitaciones totales mensuales, número de horas de lluvia, distribución de la misma y precipitaciones mensuales en los diferentes sectores de la rosa de los vientos.

5. Frecuencia con que se producen vientos superiores a la media normal, por tipo de fenómenos singulares.

Esta información deberá ir completamente documentada y sustentada así como la validez de sus representaciones y las condiciones esperadas a largo plazo en y cerca del emplazamiento. Una guía meteorológica aceptable con referencia a las medidas y datos es la Guía Reguladora 1.23 (Guía de Seguridad 23). *Onsite Meteorological Programs*, de la USNCR.

También deberá suministrarse una información meteorológica suficiente y adecuada a las características del proceso de transporte atmosférico (ejemplo: trayectorias del flujo atmosférico, condiciones de difusión, características de depósito) hasta una distancia de 80 km., a partir de la Planta Nuclear. La fuente más importante de la información meteorológica es el programa de campo. Otras fuentes de información meteorológica pueden incluir la información procedente del Instituto Nacional de Meteorología, programas meteorológicos que estén bien desarrollados y tratados y la información meteorológica adicional procedente de satélite que pueda presentar el solicitante para mostrar las condiciones críticas más importantes en la planta y sus proximidades. La adecuada caracterización de los procesos de transporte a la atmósfera, dentro de un radio de 80 kilómetros a partir de la Planta puede incluir el examen de datos meteorológicos de Plantas que estén más allá de esta distancia, cuando esta información pueda suministrar información adicional. Para el establecimiento del transporte atmosférico a distancias de 80 km, a partir de la Planta, la siguiente información meteorológica adicional (basada al menos en un período de un año), deberá presentarse de cuantas estaciones importantes sea posible:

1. Datos sobre la dirección del viento y la velocidad del mismo en todas las alturas en que los datos sean precisos o han sido medidas.
2. La estabilidad atmosférica definida por el gradiente vertical de temperaturas u otros parámetros que hayan sido debidamente controlados.
3. Datos mensuales de la altura de la capa de mezcla.
4. Precipitaciones totales por mes, número de horas con precipitación y distribución de la lluvia, así como las precipitaciones mensuales según la rosa de los vientos.

Se aportará también un mapa que muestre las características topográficas

cas detalladas, en una escala amplia dentro de un radio de 10 km, a partir de la planta y en una escala menor en el radio de 80 km., así como el punto de máxima elevación a partir de la planta en cada uno de los dieciséis sectores de 22,5° (por ejemplo: centrado en el norte verdadero, noreste, noroeste) con el centro de la planta y a la distancia de 80 kilómetros.

Para establecer el impacto de las operaciones de la planta sobre el medio ambiente, se facilitarán algunos datos sobre humedad, visibilidad, radiación solar, así como la frecuencia y magnitud de las nieblas y heladas, y cualquier otro efecto en el ambiente atmosférico que pueda deberse a la planta y a sus operaciones.

En el momento de la presentación de la solicitud para el permiso de construcción, el solicitante deberá suministrar, si propone una torre húmeda, seca, o húmeda-seca, para el circuito de refrigeración, datos sumarios de la humedad conjunta, junto con la velocidad del viento, categoría de estabilidad, y frecuencias en la dirección del viento para alturas conectadas con la estimación de la dispersión del penacho de vapor de agua procedente de la torre de refrigeración, para un período no inferior a seis meses y preferiblemente un ciclo anual, con objeto de proporcionar las bases para la estimación del impacto de la torre sobre el medio ambiente. Si el solicitante no tiene la información meteorológica detallada descrita hasta ahora, para el lugar específico del emplazamiento, puede presentar la información aplicable al área general del mismo, procedente del Instituto Nacional de Meteorología u otras fuentes autorizadas.

## Geología

Se incluirá una descripción de los aspectos geológicos más importantes del emplazamiento y sus alrededores. El nivel de detalle deberá ser el apropiado para el diseño de la Planta propuesta y particularmente para el sistema previsto de disipación del calor. Por ejemplo: si se han de construir balsas para almacenamiento o enfriamiento, deberá suministrarse una detallada descripción del suelo, del tipo de los lechos rocosos, estructuras geológicas, litología, etc. Excepto para estas realizaciones específicas, que son importantes para establecer el impacto ambiental, la descripción puede limitarse a señalar las características geomorfológicas y las características generales del emplazamiento y sus alrededores (topografía, estratigrafía y tipos del suelo y de las rocas).

## Hidrología

Los efectos de la construcción y la puesta en marcha de la planta sobre los terrenos adyacentes y las aguas freáticas, son de gran importancia. El solicitante deberá describir en términos cuantitativos las características físicas, químicas, biológicas e hidrológicas, las medias estacionales típicas de la zona, y los extremos históricos para los terrenos y las masas de agua freática.

Esta información deberá presentarse solamente para aquellas aguas que puedan resultar afectadas por los efluentes de la planta o el suministro de agua, o que razonablemente se presuma que serán afectados por la construcción o la puesta en marcha de las instalaciones. Para los cuerpos de aguas y sistemas que puedan recibir radionucleidos desde la Planta, los datos deberán suministrarse para un radio de 80 km.

Deberán describirse mensualmente las variaciones estacionales o temporales de parámetros importantes, tal como los caudales y las corrientes; igualmente deberán suministrarse datos diarios o incluso más cortos cuando se prevea que son determinantes para las bases de evaluación de los efectos ambientales.

El solicitante deberá señalar, con la máxima extensión posible, el origen y la naturaleza de los contaminantes (ejemplo: compuestos químicos y características físicas, tales como color y temperatura) el intervalo de las concentraciones y el tiempo de variación de las emisiones. La información relativa a las características de calidad del agua, deberá incluir muestreos hechos en las proximidades del emplazamiento.

La construcción de la Planta y la puesta en marcha de la misma afectarán a las características hidrológicas del área de emplazamiento. Deberá suministrarse información que establezca las bases para la estimación de los efectos. Para sistemas que impliquen tomas y usos del agua, se especificarán los caudales, tomados y devueltos, evaporación, pérdidas, percolación, evapotranspiración y volúmenes netos. Además se suministrarán las curvas de elevación de capacidad del área y datos suficientes sobre el emplazamiento específico para justificar la evaluación de los efectos de la construcción y la puesta en marcha de la Planta sobre las aguas freáticas y su uso.

Con objeto de desarrollar una evaluación sistemática de la interacción entre los vertidos que se efectúen y los cuerpos de agua receptores, que permitan establecer la distribución de las isopletas de temperatura o las concentraciones de compuestos químicos y de radionucleidos, es preciso

presentar una descripción hidrológica detallada del emplazamiento y de su entorno con un radio de 80 km.

En lo que se refiere a las aguas de superficie, la información hidrológica específica del emplazamiento deberá incluir la descripción de los patrones de caudal en pleamar y bajamar. En el caso de regiones costeras la descripción de la circulación en bajamar deberá incluir las distribuciones de frecuencia de las velocidades, dirección y persistencia de las corrientes.

Se facilitarán los ciclos estacionales de temperatura y de la salinidad, así como información batimétrica del fondo y la configuración de la costa, tasas de sedimentos, en suspensión y depositados, análisis de gradación de sedimentos y coeficientes de distribución.

Respecto a las aguas subterráneas se describirán los mayores acuíferos del área, mapas de los niveles piezométricos de estas aguas correspondientes a la fase previa y posterior a la construcción; gradientes hidráulicos, permeabilidades representativas para las características geológicas, porosidad total y efectiva. Densidad de la masa estimada, coeficientes de retención, dispersión y distribución; descripción de las oportunas formaciones geológicas y tipos de suelo, incluyendo la profundidad de la formación, tanto en el emplazamiento como en el pozo más próximo o masa de agua; propiedades químicas y estadísticas acerca de las variaciones de flujo y recargas de agua freática. Asimismo, el solicitante deberá aportar datos concernientes a cualquier descenso del nivel de estas aguas producido por las captaciones de las principales industrias de las proximidades y de los pozos municipales que puedan resultar afectados por el transporte desde el emplazamiento a éstos u otros pozos.

Además de suministrar la información mencionada para el estudio del medio ambiente hidrológico en el entorno inmediato de la Planta, también deberá aportarse información suficiente para todos aquellos puntos que puedan resultar afectados por la construcción y puesta en marcha de la Planta, dentro de un radio de 80 km., y donde el agua pueda verse reducida en su caudal o donde se prevean cambios significativos en parámetros importantes. Todos los datos referentes a estos parámetros deberán ser ajustados, tanto a las condiciones actuales como a las que puedan razonablemente preverse durante el tiempo de funcionamiento de la Planta. Los parámetros químicos y biológicos del medio ambiente hidrológico se describirán de manera semejante.

La cantidad de información necesaria para la evaluación del transporte de radionucleidos en el agua, deberá ser comparada con los modelos usa-

dos en apoyo de los análisis, tales como se requiere en el Apéndice I del 10 CRF Part 50, de la USNCR.

### Ecología

En esta sección, el solicitante describirá la flora y fauna en la proximidad de las instalaciones, sus habitats, y su distribución. Este inventario inicial podrá mostrar ciertos organismos a los que, a causa de su importancia para la comunidad, deberá dedicársele una especial atención. Una especie es «importante» (a efectos de esta Guía) si puede determinarse una relación causal específica entre la Planta Nuclear y la especie o si se pueden aplicar uno o más de los siguientes criterios:

- a) La especie es valiosa desde un punto de vista comercial o recreacional.
- b) La especie puede resultar amenazada o en peligro de extinción.
- c) La especie puede afectar el bienestar de algunas otras importantes especies, de acuerdo con los criterios a) o b).
- d) La especie es básica para la estructura y función del ecosistema o es un indicador biológico de radionucleidos en el medio ambiente.

El inventario inicial, deberá identificar la mayoría de organismos acuáticos o terrestres en el emplazamiento o en la proximidad del emplazamiento y su relativa abundancia cualitativa. El solicitante deberá identificar las especies importantes de esta lista y describir con detalle su abundancia cualitativa. La descripción incluirá las especies que emigran a través del área o que la utilizan como criadero. Deberá dedicarse especial atención a la importancia relativa del área de las instalaciones, en relación con los recursos bióticos del área total regional que la engloba, explotada o potencial.

El solicitante suministrará datos sobre la cantidad y distribución de la fauna doméstica, especialmente ganado vacuno y ovino, que pueda estar implicada en la exposición radiológica del ser humano a través de la vía de la leche-iodo. Se incluirá un mapa que muestre la distribución de las granjas, establos o instalaciones existentes.

La descripción de las relaciones de las especies y el medio ambiente, incluirá detalles del uso del área (ejemplo: habitat, alimentación, etc), de las especies importantes, así como de los patrones de vida de los animales

importantes y las especies acuáticas de la región; sus fluctuaciones de población estacionales, la densidad y distribución, planctón y las exigencias de su habitat (por ejemplo: límites de tolerancia de calor), e incluirá la identificación de las cadenas tróficas y otras relaciones entre especies, particularmente cuando éstas puedan contribuir a predicciones o evaluaciones del impacto de la Planta Nuclear sobre la biota regional.

Deberán identificarse y definirse los deterioros ambientales procedentes de fuentes emisoras de contaminantes, degradación de ecosistemas y las condiciones ecológicas precisas para que estos habitats puedan considerarse alterados. Se describirá el status de la sucesión ecológica y la historia de cualquier afección, epidemia o catástrofe causadas por fenómenos naturales que han tenido un impacto significativo en la biota regional.

El estudio ecológico se presentará en dos secciones separadas: la primera titulada «ecología terrestre» y la segunda «ecología acuática». Se señalarán las fuentes de información. Como parte de estas fuentes se incluirá una lista del material publicado que tenga relación con la ecología de la región, así como cualquier tipo de estudios ecológicos o biológicos del área o sus alrededores que se esté llevando a cabo en el momento actual.

### Ruido

Deberá presentarse un estudio en el que figuren los niveles de ruido en las comunidades existentes dentro de un radio de 5 km., de la Planta propuesta.

### Características históricas, arqueológicas, arquitectónicas, paisajísticas, culturales y naturales de la región

Si existen áreas que tienen especial relevancia por su historia, arqueología, paisaje, o especial significación cultural o natural que pueden ser afectadas, el informe ambiental incluirá una breve descripción de su significación histórica, arqueológica, arquitectónica, paisajística, cultural y natural de las mismas, si son áreas próximas al emplazamiento de las instalaciones, con específica atención a los lugares y áreas incluidas en el Inventario Abierto de Espacios Naturales Protegidos y en Catálogo de Monumentos Nacionales o Patrimonio Histórico-Artístico.

## CENTRAL NUCLEAR

La Planta y el sistema de transmisión de energía se describirán con suficientes detalles, especialmente los sistemas de efluentes de la Central y los sistemas de protección y vigilancia.

### Diseño

El trazado de los edificios y el perímetro de la Planta deberán mostrarse mediante ilustraciones y referirse a los mapas de emplazamiento que se han mencionado. El perfil de la Planta se presentará en escala mediante delineación u otra técnica ilustrativa.

La situación y la elevación de los puntos de descarga para residuos líquidos y gaseosos deberán indicarse claramente mediante un sistema de coordenadas ( $x, y$ ) con su centro en el punto ocupado por la primera unidad nuclear.

### Tipo de reactor y sistema de generación de electricidad

El promotor deberá presentar una Memoria y Proyecto en el que se incluya información técnica sobre los siguientes aspectos:

- Tipo de reactor (agua en ebullición, BWR; agua a presión, PWR, etc).
- Fabricante.
- Número de unidades.
- Potencia térmica, MWt.
- Potencia eléctrica, MWe.
- Tipo del grupo turboalterador y fabricante.
- Características del combustible (grado de enriquecimiento, material de las vainas, número de barras, etc).
- Consumo de energía eléctrica de la Planta.

## Sistema de utilización de agua en la central

Se presentará un diagrama cuantitativo del uso del agua en la Planta mostrando las medidas mensuales, así como los máximos previstos de caudal y desde los diversos sistemas de agua de la Planta, como el sistema de enfriamiento, aguas sanitarias, sistemas de residuos radiactivos y de residuos químicos; sistemas de agua de proceso y las fuentes de aprovisionamiento para cada uno de los usos del agua. Se recogerá el máximo previsto y el consumo medio mensual de uso del agua por la Planta. Los datos mencionados que cuantifican el uso del agua por la Planta, deberán ser tabulados para las diferentes condiciones de trabajo de la misma, incluyendo su operación a plena potencia, al mínimo de energía previsto y los cierres temporales con o sin torres y estanques de enfriamiento (si está previsto el uso estacional). Para evitar un excesivo detalle de los diagramas se puede hacer referencia a otras secciones, como las descritas en el punto anterior para los datos importantes. El uso de agua en la Planta deberá ser estudiado para los períodos de bajo caudal (sequía) que hayan sido los mínimos sobre los ríos o embalses. Debe suministrarse la frecuencia y duración de las mermas y la utilización de sistemas de emergencia consecuencia de un insuficiente suministro de agua para el proceso de enfriamiento, de acuerdo con los datos de los mínimos conocidos (históricos) de bajo caudal.

### Sistema de disipación del calor. Sistema de refrigeración

Se describirán con detalle las instalaciones para la disipación del calor en el proceso normal de la Planta, incluyendo diagramas y dibujos a escala, del proceso, del flujo y de las estructuras de tomas y desembocaduras. Deberán remarcarse las razones de las instalaciones especiales, tales como limitaciones en las tomas de agua o la reducción de efectos térmicos.

Se identificarán los caudales de agua de los cuales procede la que se toma para el enfriamiento y a los que vuelve una vez terminado el proceso.

Los temas a considerar son los siguientes: cantidad de calor disipado; cantidad de agua tomada; cantidad de agua consumida; cantidad de agua devuelta; diseño, tamaño y localización de las torres, estanques y balsas de enfriamiento; canales con módulos de riego y pozos; proporciones del flujo de aire y agua; temperaturas pertinentes; estimaciones de las cantidades de corriente y vapor (y los métodos utilizados para las mismas) para las torres de refrigeración y los sistemas de riego y pozos; cambios de tem-

peratura; proporción de la evaporación del agua (por meses) procedente de las torres, estanques, lagos o cualquier otras instalaciones relacionadas con el sistema de refrigeración. Asimismo, se debe incluir información acerca de presas o diques donde se pueda establecer un depósito de enfriamiento, que incluya las características esenciales de su diseño; proyecto y localización de los sistemas o estructuras de toma de agua, incluyendo número, tipos y tamaño de las compuertas, profundidad del agua y flujo y velocidad de las condiciones del proyecto y para cualquier previsión de una circulación reducida del flujo; número y capacidad de las bombas en la estructura de tomas; diferencias de temperatura entre los puntos de toma y retorno del agua, incluyendo la consideración de las variaciones operacionales del flujo circulante; duración del desplazamiento a través del condensador y hasta el fin de las líneas de descarga, canales, etc., para diferentes meses y flujos; incremento y proporción de flujo de cualquier diluyente añadido a la corriente del agua de enfriamiento; y detalles del proyecto de vertido, incluyendo el flujo de descarga y la velocidad y la profundidad de la descarga en el agua receptora. La descripción incluirá los sistemas de los subsistemas importantes.

Se describirán los procedimientos y programas para la supresión y recogida de los drenajes, de los lodos y las algas producidos dentro del sistema y de los residuos recogidos en las estructuras de la toma, así como datos sobre los productos químicos utilizados para el control de estos factores.

Se describirán las variaciones estacionales y operacionales en todos los puntos de descarga y una descripción de todos los detalles relativos a los posibles efectos en un punto determinado del vertido de drenajes o purgas.

## **SISTEMAS DE TRATAMIENTOS DE RESIDUOS RADIATIVOS Y PROCEDENCIA DE LOS MISMOS**

Esta sección describirá los sistemas de tratamientos de los residuos radiactivos líquidos, gaseosos y sólidos, y la instrumentación para controlar todos los puntos de salida de efluentes. La información incluirá el origen, tratamiento y recogida de todos los residuos radiactivos líquidos, gaseosos y sólidos, generados por la Planta durante su funcionamiento normal, incluyendo los previstos incidentes operacionales (ejemplo: recarga de combustible, paradas, mantenimiento, etc).

Se describirán con detalle la capacidad y eficiencia de los sistemas pro-

puestos para el tratamiento de residuos radiactivos, con el objeto de mantener las descargas de estos materiales en los efluentes a niveles «tan bajos como sea razonablemente posible» y de acuerdo con lo señalado en las Normas norteamericanas del documento 10CFR Partes 20 y 50, incluyendo el análisis costo-beneficio, exigido por el apéndice 1.º del mismo documento, 10 CFR Parte 50.

Dado que el sistema de tratamiento de residuos radiactivos habrá sido ampliamente descrito y detallado en el Informe Preliminar de Seguridad presentado por el solicitante, estos sistemas de tratamientos podrán señalarse mediante diagramas de bloque. En tal caso se hará referencia a los capítulos apropiados del Informe de Seguridad Preliminar y se acompañará un resumen significativo de dicho capítulo.

### **Focos productores de efluentes líquidos, gaseosos y residuos sólidos radiactivos**

Se definirán los focos de radiactividad que originan los residuos radiactivos líquidos, gaseosos y sólidos y los sistemas para el tratamiento de los mismos, tanto en funcionamiento normal de la Planta como en caso de incidentes operacionales previstos. Se describirán los modelos utilizados para determinar la actividad de cada radionucleido en los circuitos primario y secundario de refrigeración en los reactores PWR. La fracción de combustible que se considere pueda originar radiactividad dentro del circuito primario o la proporción de gases de productos nobles, utilizado como base del proyecto. Para la emisión de efluentes deberá estar contrastada con la experiencia operativa. Se suministrará una estimación completa de las concentraciones de los productos de activación y corrosión utilizados en los cálculos de los focos, señalando las bases asumidas para las estimaciones utilizadas en la determinación. Se citarán las experiencias operativas pertinentes. También se tendrán en cuenta los radionucleidos de activación del agua y los compuestos que normalmente se encuentran en el sistema de refrigeración del reactor. Se identificarán los isótopos, junto con la concentración de cada uno.

Se identificarán las fuentes y la tasa de tritio en el refrigerante del reactor. Se describirán el manejo de los líquidos tritiados, durante las operaciones normales y los posibles incidentes previstos, identificando los puntos de descarga de los líquidos y gases tritiados y la cantidad de tritio (en curios) que se espera descargar anualmente a través de cada punto de salida.

Se suministrarán diagramas de los sistemas de tuberías y de instrumentación para cada sistema de enfriamiento del combustible en las piscinas de purificación y de ventilación de las piscinas del combustible irradiado. Se suministrará el volumen de las piscinas del combustible y canal de recarga del mismo, así como se identificará la procedencia del agua de reposición y se describirá el manejo de las aguas durante la carga de combustible.

Se incluirá también un análisis de la concentración de materiales radiactivos en la piscina de combustible, después de la carga y se calcularán las descargas de materiales radiactivos en los efluentes gaseosos debido a la evaporación desde la superficie de la piscina de combustibles irradiados y canales de carga durante ésta y durante el proceso de operación de la central.

Se señalarán las bases utilizadas para los cálculos y valores empleados en la información anterior, citándose experiencias operativas concretas.

Con objeto de evaluar los efluentes procedentes de los distintos sistemas de ventilación, se suministrará la estimación de los volúmenes de escapes del sistema de refrigeración del reactor y de otros sistemas de fluidos que contengan radiactividad, dentro de los edificios y áreas que alojan los sistemas de ventilación. Deberán describirse las operaciones previstas, tanto para el funcionamiento normal como para los supuestos incidentes operacionales que puedan producir un escape de sustancias radiactivas al medio ambiente. Se considerarán las tasas de escape y concentraciones de sustancias radiactivas, tanto para las condiciones de diseño como para las normales de operación. Se tabularán las fuentes de escape y se estimará su contribución a la cantidad total de los vertidos. Se describirán las medidas adoptadas en el proyecto para la reducción de los escapes. Se suministrarán las estimaciones de los escapes de gases radiactivos, partículas radiactivas y radioiodos (por cada radionucleido) procedentes de cada foco potencial emisor y se describirán sus mecanismos de transporte y vías de emisión.

Se indicarán las bases de partida para la adopción de los valores utilizados. Deberán citarse las experiencias concretas procedentes de reactores en operación, especialmente de la Central de referencia y se describirá cualquier cambio de los proyectos previos que pueda afectar al escape de materiales radiactivos al medio ambiente y a las condiciones de operación de la Planta.

Se puede utilizar la Guía Reguladora 1.112, «Cálculo de la emisión de sustancias radiactivas en efluentes gaseosos y líquidos, procedentes de reactores enfriados por agua ligera», de EE. UU. u otros programas y modelos semejantes.

## EVALUACION DE LOS EFECTOS AMBIENTALES

### Identificación y evaluación de impactos ambientales

En este capítulo el evaluador debe llevar a cabo la identificación, evaluación, descripción y clasificación de los impactos ambientales, generados en las fases de construcción y operación.

Este proceso se basa en el análisis de las interacciones entre los factores y elementos del ambiente y las acciones del proyecto, entendiendo éstas desde el inicio de actividades de acondicionamiento de la zona, hasta la terminación de las obras, incluyendo el cierre definitivo de la Central.

Los impactos serán identificados y localizados conforme las distintas etapas del proyecto y según el factor o elementos afectados, en: aire, agua, relieve, clima, suelo, flora, fauna y hombre.

Los impactos más importantes y que más preocupan a la opinión pública, derivados de la utilización de energía nuclear para la producción de electricidad son dos, relacionados con el impacto físico: la acción de las radiaciones ionizantes y la contaminación térmica.

En la evaluación del impacto ambiental se opera con los dos indicadores principales ya citados, radiactividad y emisión de calor, por lo que se trabaja básicamente sobre: impacto radiactivo, impacto térmico, otros impactos.

El cálculo del riesgo radiológico se efectúa en dos situaciones:

- Operación normal.
- Accidente nuclear con consecuencias radiológicas a la población.

En la fase de operación se determina el riesgo radiológico a través de dos conjuntos de datos, uno el procedente de los vertidos radiactivos, parámetros de difusión, usos del agua y de la tierra y la población afectada por aquéllos y otro, el procedente del Programa de Vigilancia radiológica ambiental.

Los modelos de cálculo, hipótesis y parámetros correspondientes se aplican a los siguientes pasos:

- Vertidos de radionucleidos.
- Transporte a través del medio, y
- Efecto radiológico individual y colectivo.

Para determinar el impacto de los vertidos a la atmósfera y al agua de efluentes radiactivos, se utilizan modelos de predicción, utilizando modelos físico-matemáticos.

### El impacto radiológico

El proceso de transformación de la energía nuclear mediante fisión supone la producción de cantidades sustanciales de más de trescientos nucleidos radiactivos distintos, que cubren un espectro considerable de elementos químicos de las más variadas propiedades y características. A pesar del enorme esfuerzo realizado en investigación básica y en desarrollo tecnológico, resulta imposible impedir, de forma absoluta el escape al exterior de algunos de estos nucleidos radiactivos, tanto en explotación normal como en caso de accidente, si bien en una y otra circunstancia se dispone de medios técnicos para reducir tales escapes a valores muy pequeños.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica ha establecido el concepto ALARA, que ha sido ya reconocido como válido ampliamente. Este concepto reconoce la imposibilidad técnica de evitar el escape de nucleidos radiactivos al medio ambiente, al mismo tiempo que recomienda se reduzca tal escape hasta el límite más bajo compatible con el desarrollo técnico, bajo las consideraciones fundamentales de que los daños inherentes a tales escapes puedan ser admitidos por la sociedad y el individuo en razón de su pequeñez, en términos absolutos, en comparación con los daños inherentes a otras actividades industriales de magnitud comparable, y en orden al beneficio que para la comunidad y el individuo supone el poder contar con energía eléctrica abundante.

Este escape de nucleidos radiactivos supone un impacto radiactivo sobre el medio, así como sobre las personas que en él habitan. Los principales vehículos de transmisión primario de estos radionucleidos son la atmósfera y el agua, especialmente el sistema hidráulico relacionado con la Central. Por tanto, ambos medios de dispersión deben considerarse de forma especial. Tanto en un caso como en otro, los productos liberados pasan a formar parte de los sistemas ecológicos correspondientes, cuyas características han de ser también analizadas. Este impacto radiactivo debe estudiarse profundamente.

### Impacto radiológico previsto sobre el medio ambiente y la población debido al funcionamiento de la instalación nuclear

1. EFLUENTES QUE SE PREVE SERAN VERTIDOS AL EXTERIOR DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTALACION.
  - 1.1. Gases nobles.

- 1.2. Radioyodos y partículas.
- 1.3. Efluentes líquidos.
2. PARAMETROS AMBIENTALES CONSIDERADOS.
  - 2.1. Parámetros meteorológicos.
  - 2.2. Parámetros hidrológicos.
3. ESTIMACION DEL IMPACTO RADIOLOGICO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE.
  - 3.1. Determinación de las concentraciones isotópicas en el medio debido a los efluentes gaseosos.
    - 3.1.1. Concentraciones máximas previstas en aire.
    - 3.1.2. Concentraciones máximas previstas en el suelo y vegetación.
    - 3.1.3. Concentraciones máximas previstas en leche.
  - 3.2. Determinación de las concentraciones isotópicas en el medio debido a los efluentes líquidos.
    - 3.2.1. Determinación de las concentraciones previstas en agua.
    - 3.2.2. Determinación de las concentraciones isotópicas previstas en la biocenosis del mar, lagunas u otros recursos acuáticos.
4. ESTIMACION DE LAS DOSIS EQUIVALENTES QUE SERAN RECIBIDAS POR LA POBLACION.
  - 4.1. Caminos de exposición considerados en la determinación de las dosis equivalentes.
  - 4.2. Estudio demográfico de la zona.
  - 4.3. Utilización de la tierra en la zona estudiada.
  - 4.4. Dosis previstas debidas a efluentes gaseosos.
    - 4.4.1. Dosis absorbida en aire debido a la radiación procedente de los gases nobles emitidos.

- 4.4.2. Dosis equivalentes previstas debido a exposición externa.
  - 4.4.2.1. Dosis equivalentes recibidas por exposición a la radiación procedente de los gases nobles.
  - 4.4.2.2. Dosis equivalentes debidas a exposición a la radiación procedente de los radioyodos y partículas depositados en el suelo.
- 4.4.3. Dosis equivalentes previstas debido a exposición interna.
  - 4.4.3.1. Dosis equivalentes recibidas por exposición a la radiación procedente de los radioyodos y partículas inhalados.
  - 4.4.3.2. Dosis equivalentes previstas debido a la radiación procedente de los radioyodos y partículas ingeridos.
    - 4.4.3.2.1. Dosis equivalentes debidas a la ingestión de alimentos vegetales.
      - 4.4.3.2.1.1. Dosis equivalentes previstas debidas a ingestión de alimentos vegetales considerados hortalizas.
      - 4.4.3.2.1.2. Dosis equivalentes previstas debidas a la ingestión de alimentos vegetales considerados no hortalizas.
    - 4.4.3.2.2. Dosis equivalentes previstas debidas a la ingestión de alimentos de origen animal.
      - 4.4.3.2.2.1. Dosis equivalentes recibidas por ingestión de leche.

- 4.4.3.2.2.2. Dosis equivalentes recibidas por ingestión de carne.
- 4.5. Dosis equivalentes previstas debidas a la emisión de efluentes líquidos.
  - 4.5.1. Dosis equivalentes que serían recibidas por la población si los vertidos se efectúan en el mar o en cuerpos de agua interiores.
- 4.6. Dosis equivalentes, individual y colectiva, que se preve serán recibidas anualmente por la población de la zona considerada.
- 4.7. Estimación del riesgo de aparición de efectos estocásticos en la población estudiada, debido al funcionamiento de la instalación nuclear.
- 5. ESTIMACION DE LAS DOSIS QUE SERAN RECIBIDAS POR LA BIOTA DE LA ZONA.
  - 5.1. Vías de exposición consideradas.
  - 5.2. Clasificación de los organismos.
  - 5.3. Factores de bioacumulación considerados.
  - 5.4. Determinación de dosis absorbidas.
  - 5.5. Evaluación de las dosis absorbidas por la biota.
- 6. CONCLUSIONES.

#### EFLUENTES RADIATIVOS. LIMITES DE EMISION

Anteriormente se han indicado los productos radiactivos que pueden originarse en una Central Nuclear y el tratamiento a que se somete a los mismos, bien para su confinamiento, bien para que la emisión controlada al medio exterior sea perfectamente tolerable.

Los límites de emisión, como se ha indicado, se han ido reduciendo con el desarrollo de la industria nuclear; actualmente se requiere que la

emisión, por cualquier camino posible, conduzca a dosis «tan bajas como razonablemente se pueda alcanzar», (concepto ALARA).

Dichos límites están fijados en los condicionamientos de la Autorización Previa que se otorga a cada instalación. Como valores típicos, cabe señalar los siguientes:

La cantidad de material radiactivo contenida en los efluentes líquidos y gaseosos deberá ser tan pequeña como sea razonablemente posible. A los fines anteriores se presentará el cálculo numérico y la justificación de los niveles de emisión de radiactividad en base al impacto radiológico derivado, de acuerdo con los siguientes criterios de proyecto condicionantes:

1. La actividad total anual de todo el material radiactivo, por encima del fondo radiactivo natural contenido en los efluentes líquidos evacuados por cada reactor nuclear al exterior de la propiedad del titular, estará limitada de modo que la dosis equivalente anual recibida por cualquier individuo situado fuera de dicha zona, a causa de todos los caminos posibles de exposición, no sea superior a tres milirem en todo el cuerpo o a 10 milirem en cualquier órgano.
2. La actividad total anual de todo el material radiactivo, por encima del fondo radiactivo natural, contenida en los efluentes gaseosos que se evacuen a la atmósfera por cada reactor nuclear, ha de estar limitada de modo que la dosis estimada anual en el aire, en cualquier punto a nivel del suelo que pudiera estar ocupado por un individuo en o fuera de los límites de la propiedad del titular, no sea superior a 10 milirad a causa de los fotones o a 20 milirad a causa de las partículas beta.

El titular deberá justificar además que existe una razonable garantía de que la actividad calculada anteriormente no supone una dosis equivalente externa anual para un individuo que se encuentra fuera de los límites de la propiedad del titular, superior a cinco milirem en todo el cuerpo ó 15 milirem en la piel.

3. La actividad total anual de todos los radioisótopos del yodo y del material radiactivo en forma de partículas, por encima del fondo radiactivo natural, contenida en los efluentes gaseosos que se evacuen a la atmósfera por cada reactor nuclear, ha de estar limitado de modo que la dosis equivalente anual en cualquier órgano de un

individuo que se encuentre fuera de la propiedad del titular, teniendo en cuenta todos los caminos posibles de exposición, no sea superior a 15 milirem en cualquier órgano.

La comparación de la mencionada dosis de 5 milirem en todo el cuerpo con el valor medio de la radiactividad natural (unos 150 milirem/año) es suficientemente expresiva del bajo valor incremental producido por la Central Nuclear, ya que representa menos de un 3,5 por 100 del fondo natural.

Como complemento, se indican las especificaciones técnicas de vertido impuestas al Grupo I de la Central Nuclear de Ascó, en España, por el Consejo de Seguridad Nuclear, en julio de 1.982.

### Efluentes líquidos

- La concentración de radiactividad en el canal de descarga, una vez diluida con el agua de circulación a descargar, habrá de cumplir la expresión:

$$\sum_i \frac{C_i}{(CMA)_i} \leq 1$$

$C_i$  es la concentración del radionúclido  $i$  en el canal de descarga;  $(CMA)_i$  es 1/10 de la concentración máxima admisible en agua de bebida del radionúclido  $i$ , según las Normas de Base de la OCDE de 1968.

- En caso excepcional se permitirá el vertido de un tanque siempre y cuando antes de su descarga se asegure una concentración en la zona de mezcla inferior a  $10^{-8}$  ci/cm<sup>3</sup>.
- La actividad total anual de todo el material radiactivo por encima del fondo radiactivo natural, contenida en los efluentes líquidos evacuados, ha de estar limitada de modo que la dosis equivalente recibida por el individuo más expuesto situado fuera de la zona bajo control del explotador, a través de todos los caminos potenciales de exposición, no sea superior a  $5 \times 10^{-2}$  mSv (5 mrem) en todo el cuerpo o en cualquier órgano.

### Efluentes gaseosos

#### Descarga continua

— La tasa de descarga continua de efluentes radiactivos gaseosos para gases nobles no sobrepasará el valor límite deducido por la fórmula:

$$Q \text{ (ci/seg)} \leq \frac{1}{(X/Q)} \left[ \sum_i \frac{F_i}{(CMA)_i} \right]$$

$X/Q$  = Coeficiente de dispersión atmosférica medio anual en el punto más desfavorable del límite de la zona bajo control del explotador ( $s/m^3$ ).

$F_i$  = Fracción de actividad del radionúclido  $i$ .

$(CMA)_i$  = Un décimo de la concentración máxima admisible del Radionúclido  $i$  en aire inhalado según las Normas de Base de la OCDE de 1968.

— Halógenos y partículas con período de semidesintegración mayor de ocho días.

$$Q \text{ (ci/seg)} \leq \frac{1}{90 (X/Q)} \left[ \sum_i \frac{F_i}{(CMA)_i} \right]$$

— Si no se realiza análisis isotópico completo, se cumplirá.

$$\text{— gases nobles} \dots\dots\dots Q \text{ (ci/seg)} \leq \frac{3 \times 10^{-4}}{(X/Q)}$$

$$\text{— yodo - 131} \dots\dots\dots Q \text{ (ci/seg)} \leq \frac{10^{-4}}{90 (X/Q)}$$

$$\text{— tritio} \dots\dots\dots Q \text{ (ci/seg)} \leq \frac{2 \times 10^{-4}}{(X/Q)}$$

#### Descarga por tandas

La tasa máxima de descarga de los tanques de decaimiento se determina a partir de la expresión siguiente:

$$Q \text{ (ci/seg)} \leq \frac{1}{X/Q} \left[ \sum_i \frac{F_i}{(CMA)_i} \right]$$

Siendo  $X/Q$  la calculada en el momento de la descarga y  $F_i$  la obtenida a partir de la toma de muestra anterior a la descarga.

La actividad total anual de todo el material radiactivo por encima del fondo radiactivo natural, contenida en los efluentes gaseosos que se evacúen a la atmósfera, ha de estar limitada de modo que la dosis equivalente por exposición externa al individuo más expuesto no sea superior a  $5 \times 10^{-2}$  mSv (5 mrem) a todo el cuerpo o  $15 \times 10^{-2}$  mSv (15 mrem) a la piel.

La dosis debida a la radiación procedente de los isótopos del yodo y del material en forma de partículas no deberá ser superior a  $15 \times 10^{-2}$  mSv (15 mrem).

## RESIDUOS RADIOACTIVOS

### Tratamiento y confinamiento

En puntos anteriores se ha descrito muy brevemente el tratamiento de los distintos desechos radiactivos producidos en la explotación de las centrales nucleares, que pudieran encuadrarse como residuos de baja y media actividad; los de alta actividad son los contenidos en el interior de los elementos combustibles irradiados.

#### a) Efluentes gaseosos

Los residuos gaseosos se tratan en el sistema de descontaminación de gases radiactivos que reduce los niveles de actividad de los gases de fisión no condensables, con anterioridad a su evacuación al exterior.

Un sistema muy extendido es el que utiliza la absorción de los gases nobles radiactivos por medio de lechos de carbón activado. En el sistema de baja temperatura, los gases no condensables se diluyen con vapor para obtener una proporción de hidrógeno menor de 4 por 100 en volumen. El gas diluido, después de sobrecalentado, se pasa por un recombinador para convertir el hidrógeno y el oxígeno en agua. El efluente resultante se pasa a través de un enfriador para eliminar, por condensación, la mayor proporción de humedad, con lo que se reduce sustancialmente el volu-

men de gas remanente, lo que aumenta considerablemente la eficacia del proceso de absorción en los lechos de carbón activado.

El gas pasa seguidamente por una tubería de gran diámetro, en la que tiene lugar la desintegración radiactiva del N-13, N-16, O-19, y de los isótopos del xenón y del criptón, cuyos nucleidos resultantes se eliminan por condensación en las paredes de la tubería y por filtración. El gas es tratado a continuación, a través de un condensador-enfriador para eliminar la humedad adicional, de un desecador para reducir la humedad relativa y de un filtro de alto rendimiento y, posteriormente, se pasa a los lechos de carbón activado. Finalmente se filtra el gas en otro filtro de alto rendimiento antes de su descarga al exterior. Esta descarga al exterior se hace en cantidades muy inferiores al criterio establecido en los reglamentos. El correspondiente a Estados Unidos es el documento 10 CFR 50, Apéndice 1, de aplicación en España.

El Programa XOQDOQ, escrito en Fortran H, evalúa bajo condiciones meteorológicas, las liberaciones en condiciones de operación normal y de liberación intermitente, la concentración de efluente radiactivo relativo promedio X/Q (XOQ) y los valores de depósito relativo promedio D/Q (DOQ) en la vecindad de la planta a diferentes distancias y sectores de viento.

El modelo empleado considera las restricciones establecidas por la Guía Reguladora 1.111 «Métodos para estimar el transporte atmosférico y dispersión de efluentes gaseosos en liberaciones rutinarias para los reactores de agua ligera».

#### b) Efluentes líquidos

El tratamiento de los efluentes líquidos persigue dos objetivos básicos: la reducción de la radiactividad de los efluentes a niveles inferiores a los establecidos en los Reglamentos (en Estados Unidos el documento 10 CFR 50, apéndice 1) y la reducción del volumen de los mismos. Las funciones básicas del proceso son: la recogida de los efluentes, el tratamiento, el almacenamiento y las medidas de disposición futura. Los efluentes se recogen según su pureza para ulterior tratamiento (alta pureza, baja pureza y efluentes químicos y detergentes).

Normalmente, los efluentes de alta pureza se filtran, desmineralizan, comprueban sus características y retornan al depósito de condensado para uso posterior en el ciclo. Los efluentes de baja pureza y los químicos, se tratan por lotes, mediante una neutralización química y concentración posterior

en un evaporador. Los residuos del concentrador se envían al sistema de residuos sólidos; el vapor del concentrador sigue el mismo tratamiento de los efluentes de alta pureza ya descrito. Los residuos de lavandería se filtran y se tratan para eliminar impurezas radiactivas o no radiactivas, y se devuelven al ciclo de lavandería.

En el caso de evacuación de efluentes al exterior, después del tratamiento, ésta sólo se hace después de muestreo y análisis por lotes y previa dilución posterior, siempre dentro de los límites marcados en la Reglamentación.

Los códigos GALE líquido y gaseoso, escritos en FORTRAN IV calculan el «Término Fuente» de efluentes radiactivos líquidos y gaseosos para una planta nucleoelectrica con el objeto de verificar el cumplimiento de las bases de diseño establecidas en el apéndice 1 del 10 CFR 50 y de los límites dados por las concentraciones máximas permisibles especificadas en el 10 CFR 50-20.

#### c) Residuos sólidos

Los residuos sólidos se envasan en bidones. En el caso de barros de filtrados o elementos pastosos, se conducen después del tratamiento a unas tolvas que cargan por control remoto los bidones, que un transportador coloca y posiciona debajo de las tolvas. Hay varios sistemas de tratamiento para fijar la humedad contenida en estos residuos, entre los cuales pueden mencionarse su tratamiento con hormigón, tierras absorbentes, asfalto, etc. El conjunto resultante se encierra después en recipientes estancos. Estos recipientes o bidones se conducen al almacén temporal de residuos de la Central para su envío a los servicios centralizados de confinamiento definitivo a cargo de las autoridades gubernamentales.

El almacenamiento temporal se realiza en condiciones de completa seguridad, bajo los siguientes criterios generales:

- a) Reducir al mínimo el efecto de la radiación directa mediante la utilización de blindajes adecuados y delimitando la zona de almacenamiento, para impedir el acceso eventual.
- b) Impedir y confinar la producción y evacuación consiguiente de los efluentes que pudieran producirse.
- c) Controlar en todo momento la operación de la instalación desde el punto de vista de la protección radiológica.

Generalmente cada Central debe disponer, como mínimo, de una capacidad de almacenamiento temporal suficiente para cinco años de explotación y después los residuos deben enviarse a almacenamientos de carácter nacional, aunque están más tiempo en las Centrales.

*d) Combustibles irradiados. Almacenamiento y transporte*

El combustible irradiado, es decir los elementos combustibles que se descargan del reactor después de su irradiación en el mismo durante el ciclo de operación correspondiente, se llevan a la piscina de combustible irradiado de la Central. Esta piscina consiste en un gran depósito de hormigón armado cuya profundidad es, como mínimo, la correspondiente a la longitud del elemento combustible (más de tres metros), lo que proporciona, con la capa de agua consiguiente, el blindaje adecuado. Naturalmente, todas las operaciones de transferencia del elemento combustible desde el reactor a la piscina se realizan bajo agua con mecanismos idóneos.

La piscina está recubierta interiormente en su totalidad con chapa de acero inoxidable y posee sistemas de enfriamiento y filtración y limpieza del agua, así como bastidores donde se colocan los elementos combustibles.

En un ciclo de operación anual, en los reactores de agua ligera, se efectúa la recarga de un tercio (en el caso del reactor de agua a presión) o de una cuarta parte (reactores de agua en ebullición) de la carga total del núcleo.

Los combustibles agotados descargados, que son altamente radiactivos, desprenden calor residual durante un cierto período, calor que es eliminado por el sistema de refrigeración de la piscina. Durante este período decrece asimismo la radiactividad consiguiente, por desintegración de los productos de fisión de vida corta o media. Al cabo de seis meses, como mínimo, los combustibles irradiados están en condiciones de ser transportados, bien a instalaciones de almacenamiento centralizado, bien a plantas de reelaboración.

El transporte de combustibles irradiados se realiza en contenedores especiales, llamados cofres, debidamente blindados contra la radiación, con la refrigeración requerida y a prueba de accidentes, fuego, caídas, etc. Las operaciones de carga en los contenedores, se realizan también bajo el agua. Una vez cerrados aquéllos se descontaminan exteriormente, pudiendo manejarse ya sin precauciones especiales para su carga en el vehículo de transporte, que los conduce al destino final señalado. El manejo y transporte de los cofres se hace dentro de unas estrictas normas de seguridad y de protección radiológica, previa obtención de las autorizaciones administrativas correspondientes (autorización de transporte de material radiactivo).

La reelaboración se realiza en instalaciones de las cuales aún no existe ninguna en España.

En la reelaboración se separan la mayor parte de los productos de fisión que, una vez tratados, vitrificados y encerrados en recipientes adecuados, han de someterse a un almacenamiento definitivo, por tratarse de residuos de alta actividad.

Conseguir que este almacenamiento definitivo cumpla los requisitos de seguridad exigidos en toda actividad nuclear es factible desde el punto de vista técnico. Así lo demuestran, por ejemplo, las experiencias norteamericana y soviética, en países que han necesitado irradiar y reelaborar grandes cantidades de elementos combustibles para obtener cantidades importantes de plutonio con fines militares. El almacenamiento de los residuos de su tratamiento no ha supuesto problema técnico ni de seguridad para estos dos países.

Como solución óptima para el almacenamiento definitivo a gran escala, se considera hoy el empleo de yacimientos geológicos de características adecuadas (masas salinas, graníticas, de arcilla, etc). Existe una variedad de masas rocosas con características adecuadas para ello; cuya elección dependerá de las circunstancias propias de cada país, a profundidades superiores a 500 m. Este tipo de almacenamiento se llama «almacenamiento geológico» para indicar que los periodos de tiempo que hay que considerar se cuentan en millares de años, y aún más.

## RADIATIVIDAD DE FONDO. FASE PREOPERACIONAL

La determinación experimental del nivel radiactivo y natural en la zona de influencia de la Central debe ser determinado con precisión, antes de la llegada a la Central de sustancias nucleares o de productos radiactivos que pudieran enmascarar las medidas.

La radiactividad natural incluye distintos componentes entre los que cabe contar con los radisótopos de origen terrestre, los que tienen su origen en la radiación cósmica y la propia radiación cósmica. La radiactividad asociada al poso radiactivo procedente de explosiones nucleares es de naturaleza artificial; sin embargo, dada su distribución universal y su origen, aquel debe ser incluido como componente de la radiactividad natural, a fin de que los resultados obtenidos sirvan de referencia a futuras medidas del impacto propio de la Central.

Los radisótopos de origen terrestre incluyen los nucléidos radiactivos

naturales, entre los que se encuentran las distintas familias radiactivas del uranio y torio, y el potasio-40, cuya importancia en este sentido supera al de los otros. Todos estos productos radiactivos incluyen emisores alfa, beta y gamma; su determinación cuantitativa en las distintas muestras de interés puede llevarse a cabo utilizando procedimientos analíticos bien conocidos.

Entre los radiosótopos de origen cósmico destacan el tritio y el carbono-14. Ambos núclidos son emisores beta puros de muy baja energía, por lo que su determinación cuantitativa ofrece algunas dificultades, lo que ha llevado a la puesta en práctica de técnicas especiales de centelleo líquido, bien desarrolladas.

La determinación de la componente ionizante de la radiación cósmica ha sido investigada con detalle y se conocen métodos muy fiables para su determinación. Como se sabe, la intensidad de esta radiación crece con la altura sobre el nivel del mar y con la latitud, por lo que será un componente relativamente reducido en el caso de Centrales Nucleares situadas junto al mar.

Los contaminantes asociados al poso radiactivo procedente de las explosiones nucleares incluyen radiosótopos de fisión de vida media y larga, de entre los que destacan el cesio-137 y el estroncio-90, así como productos de activación, de entre los que, de nuevo, destacan el tritio, y el carbono-14. También cabe contar con la presencia de cantidades medibles de plutonio procedente de los residuos no quemados de las bombas termonucleares y originados también en la transmutación del uranio-238 que forma parte de estos ingenios.

En España se aplica la Guía de Seguridad 9. Programa de Vigilancia radiológica ambiental para Centrales Nucleares de potencia, desarrollada por la Junta de Energía Nuclear. También podrán seguirse las recomendaciones de la Guía Reguladora 4.1. Programs for Monitoring Radioactivity in the Environs of Nuclear Power Plants de la NRC de los EE. UU.

#### **CALCULO DEL IMPACTO FISICO. ACTIVIDAD QUE ESCAPA A LA ATMOSFERA Y AL MEDIO ACUATICO. MODELOS DE DISPERSION**

El cálculo del impacto físico (tanto en el caso del aire como del agua), se obtiene a través de modelos de predicción. Estos modelos constituyen submodelos dentro del general para la valoración global del impacto.

Para llevar a cabo estos modelos se requiere una información previa a la que nos venimos refiriendo ampliamente en los capítulos anteriores, en cuya obtención se trabaja paralelamente al análisis de las emisiones. Tal información corresponde al estudio del ecosistema, con la elaboración de un inventario ambiental tan amplio como sea preciso; definición del mayor escape verosímil de productos de fisión; establecimiento de los criterios de aislamiento y estudios de demografía; análisis de las actividades económicas —agropecuarias, pesqueras, turísticas e industriales— en su situación actual y previsiones futuras; estudio de los factores sociales y culturales de la zona de influencia de la Central; revisión de los factores técnicos locacionales —sismológicos, geológicos e hidrológicos—; estudios meteorológicos e hidráulicos o de dinámica marina; determinación de la radiactividad ambiental y contaminación de fondo en los medios atmosférico y acuático; estudio de la legislación, etc.

#### **DEFINICION DEL MAYOR ESCAPE VEROSIMIL DE PRODUCTOS DE FISION**

Ya hemos dicho que en los estudios de evaluación de los impactos ambientales de las Centrales Nucleares se opera con un enorme margen de seguridad, pues en los modelos de dispersión no se toman las actividades que escapan al medio atmosférico y al medio líquido en condiciones normales de funcionamiento de la planta, sino la actividad que supondría el mayor escape de productos radiactivos en un accidente verosímil.

En este caso se supone que el accidente libera del núcleo del reactor:

- a) Todos los gases nobles de fisión acumulados.
- b) La cuarta parte del total de los isótopos del yodo acumulados.

Los productos de fisión acumulados corresponden al funcionamiento del reactor durante un año, hasta el momento en que tiene lugar la liberación.

Para calcular la actividad que escapa a la atmósfera, se supone que la función de escape del edificio de contención es de 0,2 por 100/día durante las primeras veinticuatro horas, y la mitad de dicho valor durante el resto del tiempo. Junto a la desintegración radiactiva los sumideros incluyen una constante efectiva de purificación de  $5h^{-1}$  asociada a los sis-

temas de seguridad incorporados. Asimismo se supone que el escape tiene lugar a nivel del suelo.

Una vez evaluada —o sea, cuantificada— esta emisión, se procede a estudiar las condiciones y forma en que se dispersa en la atmósfera, mediante el modelo de dispersión correspondiente. Recordemos que pueden determinarse o predecirse las concentraciones posibles en todos y cada uno de los puntos del espacio de los alrededores del foco contaminante, su probabilidad, y los valores medios de estas concentraciones. A su vez, estos resultados son datos de partida o de base en las determinaciones de la contaminación radiactiva actual, integrada, media, dosis de los distintos tipos de radiación, etc., en las áreas críticas del perímetro de las centrales.

A partir de tales datos, cabe establecer una correlación entre dichas concentraciones (en el aire y en el agua) y las dosis recibidas por el hombre-patrón a través de las distintas vías, y luego pueden compararse los resultados con los límites establecidos por la legislación y con los criterios de seguridad.

Respecto a la determinación de las dosis recibidas, se supone que la nube radiactiva es semi-infinita y que la tasa de absorción de energía por unidad de volumen es igual a la tasa de liberación de energía por desintegración beta o gamma de los contaminantes atmosféricos.

En estos cálculos se opera con las potenciales dosis recibidas por el hombre-patrón, dosis limitadas a los siguientes valores:

- a) Dentro del radio de la zona bajo control, durante las dos horas siguientes al momento en que empieza el escape, la dosis recibida por el hombre-patrón no debe ser superior a 25 rem en todo el cuerpo por irradiación externa o a 150 rem en la glándula tiroides por inhalación de los isótopos del yodo.
- b) Dentro del radio de la zona vigilada, la dosis recibida por el hombre-patrón durante todo el tiempo que dure el escape, no debe ser superior a 25 rem en todo el cuerpo por irradiación externa o a 150 rem en la glándula tiroides por inhalación de los isótopos del yodo.
- c) La dosis recibida por el conjunto de la población a la que pueda afectar el escape, no debe ser superior a un millón de rem-hombre.

## CUADRO XV

**Accidentes, métodos de cálculo para su evaluación**

<i>País</i>	<i>Métodos de cálculo</i>
Alemania	RSK Guidelines (Reaktorensicherheitskonferenz).
Checoslovaquia	Recomendaciones de la ICRP. Uso de los modelos de liberación y difusión de radionucleidos.
España	Se usan los procedimientos usuales de acuerdo con las normas de la USAEC, ICRP, etc. La sistemática sería: inventario de contaminantes; formas posibles de liberación y mecanismos de transporte y difusión; determinación de concentraciones y dosis. Se han elaborado los códigos de cálculo ESDORA y EVATO.
Finlandia	Métodos estándar de la USAEC.
Francia	Método original desarrollado por CEA y EDF para las centrales de agua ligera. No se considera la rotura de vasija. El accidente más importante que se tiene en cuenta es el de rotura de una tubería principal del circuito primario. Las consecuencias se evalúan para el individuo o grupo más expuesto.
Hungría	Métodos de la IAEA. Uso de modelos de difusión.
Irlanda	Métodos estándar de la USAEC.
Reino Unido	Métodos estándar de la USAEC.
Suecia	Emergency Reference Levels of the Medical Research Council.

**EMISIONES DURANTE EL FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL****Emisiones a la atmósfera**

En la determinación del impacto radiológico que se preve producirá el funcionamiento de las unidades de la Central Nuclear sobre el medio

y la población, se consideran las actividades de los diferentes isótopos que se emitirán al exterior en los efluentes gaseosos y líquidos.

### Gases nobles

En la evaluación se estima la actividad total anual que será vertida a la atmósfera debido a los gases nobles, durante el funcionamiento de las unidades de la Central Nuclear.

Las estimaciones de la radiactividad que se puede verter al medio, en operación normal, se deducen del documento WASH-1258, en el caso de tecnología americana, «Numerical Guides for Design objectives and limiting Condition for operation to meet the Criterion. «As Low As Practicable» for Radioactive Material in Light Water —Cooled Nuclear Power Reactor Effluents», de julio de 1973.

En el caso de postulación de accidentes de mayores consecuencias radiológicas, la radiactividad liberada al medio se toma de las guías reguladoras de los EE.UU. 1.3, 1.4, y 1.5.

En la estimación del impacto radiológico que se preve producirán las unidades de la Central Nuclear durante su funcionamiento, sobre la población y el medio, se consideran las características de los medios de transporte y dilución de los efluentes (características meteorológicas e hidrológicas) así como la utilización de la tierra y el agua por la población comprendida en un área en torno a la instalación de 30 km., de radio.

Los parámetros meteorológicos considerados (coeficientes de dispersión atmosférica, velocidades y frecuencias del viento) con objeto de determinar las dosis equivalentes que recibirán los habitantes de la zona, así como las concentraciones de los diferentes isótopos en el medio debido a los efluentes gaseosos emitidos por la Central, se determinan a través de la evaluación de las características meteorológicas de la zona de ubicación.

Con objeto de determinar la dilución prevista de los efluentes líquidos vertidos desde la instalación al medio acuático se considera un caudal medio anual de vertido y se calcula el factor de dilución medio.

Los caminos de exposición que se consideran en la estimación del efecto radiológico provienen de los efluentes gaseosos dispersos en la atmósfera y de los efluentes líquidos dispersos en el medio acuoso. En el caso de las centrales nucleares, la consideración del camino de exposición a través de los estratos se hace en casos específicos según la situación de la instalación y la estructuración geológica de la zona.

### Modelos de difusión

Los modelos numéricos empleados para deducir los parámetros de difusión en operación normal vienen consignados en la Guía reguladora 1.111<sup>1</sup> para la difusión atmosférica y la 1.113<sup>2</sup> para la hidrológica. En el caso del accidente con mayor repercusión radiológica los parámetros de difusión atmosférica se toman de las Guías reguladoras, ya citadas 1.3 y 1.4. Es práctica en la evaluación postular el accidente de vertido incontrolado de un tanque de control conteniendo la mayor actividad permitida al medio acuoso, coincidiendo con las condiciones de difusión hidrológica peores, que razonablemente puedan suponerse.

Los datos demográficos y los correspondientes al uso de la tierra y del agua se organizan para su posterior tratamiento numérico, de forma diferente según que la población, sus modos de consumo o costumbres sociales puedan verse afectados por efluentes gaseosos, líquidos o sólidos.

Si lo son por efluentes gaseosos se considera una zona circular alrededor del emplazamiento propuesto, de 30 km., dividida en trapecios circulares delimitados por circunferencias concéntricas de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 25 y 30 km., y sectores circulares centrados en las 16 direcciones principales de la rosa de los vientos. En cada uno de estos trapecios circulares se determina la distribución demográfica, y el uso de la tierra y del agua. Se calcula también para un radio de 80 km.

En el caso de que el posible efecto radiológico proceda de los efluentes líquidos se distinguen dos casos: el primero cuando el medio diluyente es un río o el mar, y el segundo cuando es un embalse. En el primer caso la distancia que se considera para el cálculo del efecto radiológico es aquella en la que la dilución llega a ser 1/10 de la correspondiente a la zona de mezcla. En el segundo caso, cuando el medio diluyente es un embalse, el efecto radiológico se calcula hasta la zona límite atmosférica correspondiente a los 30 km. La distancia bajo estudio se divide en tramos, en los cuales es posible considerar el parámetro de la difusión constante. En el caso de río, estos tramos vienen limitados por efluentes o canales que de algún modo varían su caudal; en el caso del mar vienen delimitados por la profundidad de la zona pelágica y en caso de embalse se consideran tres tramos: del canal de descarga a la presa, de la presa a la toma y de la presa al límite de los 30 km.

<sup>1</sup> U.S. Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 1.111. 1977.

<sup>2</sup> U.S. Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 1.113. 1977.

En cuanto al transporte de residuos sólidos se consideran los núcleos de población que se encuentran a lo largo de la ruta de la instalación a su lugar de almacenamiento definitivo o hasta la frontera.

Una vez conocidos los vertidos radiactivos y los parámetros de difusión en las dos situaciones de operación normal y de accidente y la distribución de la población con el uso que se hace de su medio, se puede estimar el efecto radiológico a través de los modelos numéricos que se encuentran contenidos en la Guía reguladora 1.109<sup>3</sup> en caso de operación normal y las ya citadas Guías reguladoras 1.3, 1.4 y la Guía de seguridad 5., en el caso de accidente.

Con los valores del efecto radiológico procedentes de la situación del accidente de mayores consecuencias radiológicas y siguiendo las normas contenidas en la regulación 10CFR100 ya citada se delimitan las zonas bajo control del explotador y la de baja población.

La evaluación del efecto radiológico, en el caso de operación normal conduce a dos estimadores: la dosis equivalente individual y la dosis equivalente colectiva. El primero de ellos no ha de superar los valores ya citados en el apartado 1 que proceden de la ya mencionada regulación apéndice 1 de 10CFR50, llegándose a estimar mediante la publicación 26 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica<sup>4</sup> los riesgos individuales estocásticos. Mediante el segundo estimador, la dosis equivalente colectiva, y con las conclusiones del informe BEIR<sup>5</sup> se llegan a determinar los riesgos colectivos estocásticos a la población.

Hay que señalar la gran dificultad que existe para estimar de forma realista, la dosis equivalente colectiva, ya que no es posible actualmente el conocer de manera razonable la procedencia de los alimentos consumidos por la población ubicada en cada trapecio circular. Para salvar este inconveniente se supone que la población ubicada en cada trapecio consume los productos procedentes del mismo. En el caso de que sobre producción, se considera que es consumida por el resto de la nación lo cual hace incrementar la dosis equivalente colectiva a nivel nacional.

Se pueden determinar así las concentraciones isotópicas en el aire y en

<sup>3</sup> U.S. Nuclear Regulatory Commission. Regulatory Guide 1.109. 1977.

<sup>4</sup> International Commission on Radiological Protection. «Recommendation of the International Commission on Radiological Protection» ICRP. Publication 26, 1977.

<sup>5</sup> Advisory Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations. «The Effects on population of exposure to low levels of ionizing radiation», National Academy of Sciences, 1972.

el agua debidas a los efluentes gaseosos emitidos y a los vertidos líquidos, así como las concentraciones previstas en el suelo y en la vegetación de la zona.

Se calcula también la concentración en la leche de vaca y en el agua empleada en los diferentes usos, así como en los diferentes grupos biológicos que componen la biocenosis marina y terrestre, (algas, plantas acuáticas, invertebrados y peces).

La estimación de las dosis equivalentes recibidas por la población se efectúa a través de los siguientes caminos de exposición a la radiación:

## CAMINOS DE EXPOSICION

### 1. EFLUENTES GASEOSOS:

#### 1. Exposición externa

- a) Exposición a la radiación procedente de los gases nobles existentes en la pluma radiactiva.
- b) Exposición a la radiación procedente de los radioyodos y partículas depositados en el suelo.

#### 2. Exposición interna

- a) Exposición a la radiación procedente de los radioyodos y partículas inhalados.
- b) Exposición a la radiación procedente de los radioyodos y partículas depositados en el organismo a través de la ingestión de leche, carne y vegetales.

### 2. EFLUENTES LIQUIDOS:

#### 1. Exposición interna

- a) Exposición a la radiación procedente de los isótopos depositados en las orillas.
- b) Exposición a la radiación procedente de los isótopos depositados en el organismo mediante la ingestión de:
  - Agua.
  - Peces e invertebrados.
  - Leche, carne y vegetales.

## EVACUACION DE RESIDUOS RADIATIVOS SOLIDOS

Los residuos radiactivos sólidos que se generan en las centrales nucleares tienen tres procedencias distintas. En primer lugar, deben mencionarse los elementos combustibles quemados, los cuales contienen la mayor parte de los productos de fisión. En segundo lugar, deben incluirse piezas o partes de equipos, material de desecho, tales como guantes, chancletas o ropas que quedan contaminadas y no merece la pena descontaminar. En la tercera categoría deben incluirse los productos resultantes de la conversión de desechos líquidos y gaseosos al estado sólido, incluyendo los barros de los destiladores, las resinas cambiadoras de ión y los lechos filtrantes. Cada una de estas categorías debe ser tratada de forma distinta.

Los elementos combustibles irradiados se almacenan, sin ningún tratamiento previo, en las piscinas de desactivación de las propias centrales en espera de la solución definitiva que se haya de dar a este problema, que debe basarse en la reelaboración del combustible, con un almacenamiento temporal como solución intermedia. Entre tanto, las compañías eléctricas de los distintos países han decidido la ampliación de la capacidad de almacenamiento de las piscinas de desactivación, siguiendo la práctica de otros países, como los Estados Unidos de Norteamérica o la República Federal de Alemania, aplicando el concepto conocido por almacenamiento compacto. El máximo período de almacenamiento previsto para una carga dada del combustible es de unos diez años o más.

Conviene analizar los riesgos de tal operación de almacenamiento prolongado en la propia Central, así como el posible impacto sobre el medio ambiente por liberación accidental de productos radiactivos. Los riesgos inherentes a esta operación residen en la presencia en el interior de los elementos combustibles agotados de importantes cantidades de productos radiactivos de fisión, en la energía de desintegración correspondiente y en la presencia de materiales fisiónables.

En el caso de que se deteriore la vaina del combustible, los productos de fisión y de activación del combustible pueden salir al exterior, contaminando el agua de la piscina de desactivación y creando un riesgo, por lo general limitado al personal de explotación. Estos hechos ocurren por corrosión o por daño mecánico al combustible en las operaciones de manipulación correspondientes. La experiencia obtenida con los elementos envainados en acero inoxidable o en zircaloy, en particular en Canadá, donde no se lleva a cabo la reelaboración, revela que no aparecen defectos en períodos de tiempo próximos a los veinte años de almacenamiento.

En el caso de que se perdiese el agua de la piscina de desactivación se calentaría el combustible a causa de la energía de desintegración de los productos radiactivos. De no tomar medidas adecuadas, la temperatura podría alcanzar el punto de fusión de las vainas, con lo que los productos radiactivos quedarían en libertad y podrían incluso escapar creando un problema exterior a la Central. La evidencia de que hasta el momento se dispone demuestra que parece muy poco probable que se pueda perder el agua de la piscina de desactivación. No obstante, se investigan procedimientos para hacer frente a tal eventualidad.

La presencia de combustibles nucleares en el interior de los materiales irradiados hace posible la aparición inadvertida de estados críticos o supercríticos, que ocasionarían un accidente de reactividad con posible destrucción mecánica de los elementos combustibles, proyección del agua de la piscina y liberación de cantidades importantes de energía y de productos radiactivos. La aparición de estas circunstancias se previene en el proyecto contando con la separación de los elementos combustibles entre sí, o introduciendo venenos nucleares en las estructuras soporte.

A pesar de que la experiencia en este tipo de operaciones es hasta el presente satisfactoria y el riesgo asociado es pequeño en términos comparativos con la Central, el almacenamiento, en la propia Central, de los elementos combustibles quemados debe considerarse como una práctica no deseable, siendo preferible que se encuentre cuanto antes una solución técnica más apropiada, como cabe esperar de los esfuerzos que se están realizando en todo el mundo.

Los residuos sólidos generados en la Central nuclear incluyen materiales muy diversos por lo general de actividad específica baja o media. Entre ellos se pueden incluir piezas metálicas, empaquetaduras de válvulas y de bombas, cabezales de instrumentos, cables y tornillería procedentes de operaciones de mantenimiento y reparación de equipo cuya descontaminación no tiene interés.

Por otro lado, se producen también cantidades importantes de residuos sólidos, entre los que se encuentran materiales fungibles utilizados en los laboratorios de radioquímica de las propias centrales, así como trapos, papeles de limpiezas, guantes, batas, cubrezapatos, cubrecabezas y cosas parecidas. Estos materiales, por lo general de muy baja actividad específica, se prensan y se guardan en bidones o se incineran, con lo que la mayor parte de la radiactividad queda retenida en las cenizas, de mucho menos volumen.

La partida más importante de residuos procede de la conversión de lí-

quidos y gases al estado sólido. Los líquidos radiactivos generados en la Central se recogen y clasifican atendiendo a su composición química y radiactiva. Por lo general, se distingue entre líquidos que contienen agua del circuito primario y los que no la contienen. Tanto en un caso como en otro, se procede a la descontaminación y reutilización o descarga de tales líquidos. Los que contienen agua del refrigerante se someten a una destilación seguida de un tratamiento por cambio de ión, mientras que los que no incluyen agua del circuito primario se someten sólo a un tratamiento por desmineralización.

Los barros procedentes de la destilación y los lechos agotados del desmineralizador se agregan a cemento, que se vierte en bidones normalizados. Al fraguar el material quedan incorporados los productos radiactivos a la masa sólida, de esta manera se garantiza su retención aunque entren en contacto con el agua. En lugar del cemento se pueden utilizar otros procedimientos, tales como el bitumen y las resinas fenólicas o la vitrificación. Las ventajas e inconvenientes de los distintos métodos han sido estudiados ya con detalle.

La mayor parte de los países más avanzados en tecnología nuclear han establecido lugares apropiados para el almacenamiento a largo plazo de estos residuos radiactivos sólidos, incluyendo el almacenamiento en silos, bajo tierra o el vertido en fosas marinas. En España, se ha decidido no hacer vertidos marítimos de estos residuos, prefiriendo el almacenamiento bajo tierra. Por su lado, algunos países europeos han preferido el vertido en mar, práctica que se viene ejerciendo durante años bajo la supervisión de la Agencia de Energía Nuclear de la OECD bajo las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica. La realización de esta práctica ha de hacerse en condiciones muy bien establecidas y los bidones vertidos han de satisfacer requisitos muy estrictos, pero es aconsejable eliminar cuanto antes esta solución.

El impacto radiológico de una instalación se considera aceptable cuando cumple las siguientes condiciones:

- Su diseño y emplazamiento son tales que el efecto radiológico (medido en dosis absorbidas en aire y dosis equivalentes individuales al año) no es superior a los valores establecidos en el Apéndice I de la 10CFR50 durante la situación de operación normal.
- Considerando los diversos accidentes con consecuencias radiológicas especificados en el «Standar Review Plan» no se superan los límites de dosis equivalentes indicados en el mismo.

- En la situación del accidente de mayores consecuencias radiológicas, la zona bajo control del explotador calculada es de su propiedad y la zona de baja población puede ser evacuada en caso de que un accidente nuclear diera lugar a una situación de emergencia. Estas zonas se determinan según los criterios contenidos en la 10CFR100.

## EL IMPACTO TERMICO. EFECTOS DE LA CONTAMINACION TERMICA. SISTEMAS DE REFRIGERACION

El uso masivo de la energía contenida en los combustibles fósiles y nucleares para la producción de energía eléctrica requiere que, aproximadamente, de acuerdo con el rendimiento de la instalación particular, dos tercios de la energía liberada por el combustible, pase de alguna forma, al medio ambiente, ya sea directamente a la atmósfera, ya sea a las masas de agua. Uno de los métodos más efectivos para llevar a cabo esta disposición es calentando y evaporando agua, lo que supone un impacto directo sobre el medio.

El calor disipado por una Central de 1.000 MWe puede llegar a 2.000 MWt (Megavatios térmicos).

En la práctica, el calor disipado en el condensador de las centrales térmicas —tanto las clásicas como las nucleares— puede hacerse bien a la atmósfera, vía torres de refrigeración, bien a masas de agua, ya sea el mar, ríos, estuarios o lagos, tanto naturales como artificiales. En el caso de que el calor se disipe a estas masas de agua, el efecto producido será su calentamiento, lo que puede ser muy sensible para la vida acuática.

En aguas limpias, el aumento de temperatura atribuible a la contaminación térmica de las centrales nucleares no reduce la disponibilidad de oxígeno a una concentración que sea fatal para los peces. La situación es diferente cuando el sistema acuático está contaminado con otras sustancias.

Sí puede afectar, en cambio, a los microorganismos. Las principales modificaciones de las propiedades biológicas se centran en la variación del ritmo de crecimiento de los microorganismos e incluso en su muerte. Generalmente, los microorganismos aumentan su actividad al aumentar la temperatura del medio acuático hasta un punto en que no es posible su vida en tal medio. Como cada especie tiene temperaturas y condiciones óptimas para su desarrollo, la variación de la temperatura en una vía fluvial puede ocasionar cambios de los tipos de flora y fauna que habitan en ella.

Las propiedades químicas se alteran también con la temperatura. La

velocidad de las reacciones químicas tiende a duplicarse por cada 10°C de aumento de temperatura.

Los principales efectos sobre las propiedades físicas de la variación de temperatura están relacionados también con la variación en la disponibilidad de oxígeno y el comportamiento en esas condiciones de los microorganismos. Las variaciones de temperatura del agua afectan a su densidad, viscosidad, tensión superficial y de vapor y a la solubilidad y difusión de gases. En este caso concretamente, al aumentar la temperatura, disminuye la capacidad del agua para disolver el oxígeno que las bacterias necesitan para asimilar los residuos orgánicos y depurar así las corrientes líquidas. Además, las bacterias necesitan una mayor cantidad de oxígeno cuando aumenta la temperatura.

Conviene asimismo indicar que las tomas de agua, para evitar su obturación, están protegidas por rejillas, y en ellas tiene lugar el atrapamiento de peces grandes en cantidades que dependen del emplazamiento y la potencia de la Central. La introducción de pantallas rotatorias, reducción de la velocidad de succión y existencias de zonas de escape para los peces reducen considerablemente este efecto.

Una vez considerado el atrapamiento de los peces de gran tamaño por las rejillas, quedan en el agua una serie de organismos pequeños en suspensión, plancton —fito y zoo—, huevos de peces, larvas y pequeños peces, los cuales son succionados al interior del sistema de refrigeración. En su interior son expuestos a los efectos del incremento de temperatura y a daños mecánicos contra las paredes de los conductos, así como a la acción tóxica del cloro, ya que las superficies de transferencias de calor se recubren de una capa mucosa de bacterias que se eliminan mediante la adición de hipoclorito sódico al agua de refrigeración.

En condiciones normales, a causa del paso de estos organismos a través del sistema de refrigeración, la productividad del fitoplancton queda disminuida o destruida entre el 15 y el 50 por 100, mientras que el zooplancton, a su paso por los conductos, no sobrevive con incrementos de temperatura de 8 a 9 °C. Se ha apreciado asimismo una disminución de la fertilidad de los huevos de zooplancton y una mortalidad de 17 al 19 por 100 para copépodos y cladóceros.

Una vez vertida el agua caliente al sistema receptor, tienen lugar alteraciones en la estructura de la biocenosis, con simplificación del número de especies y aumento del número de individuos de las especies tolerantes. Esta comunidad simplificada, a partir de las zonas de máximo efecto térmico, va recuperando su fisonomía inicial por descenso de la temperatura.

Esto tiene lugar preferentemente en los organismos bentónicos —que viven sobre el fondo de los sistemas acuáticos— y que por ello reflejan mejor las condiciones locales de la contaminación térmica.

Los efectos sobre los peces, animales capaces de eludir los cambios de temperatura por desplazamiento, son menos indicadores que los datos provenientes del bentos, con desplazamientos más limitados o fijos, y así salvo bruscos cambios térmicos, la mortalidad de los peces no es previsible, y sí su posible ausencia de áreas muy reducidas.

La disminución de los efectos térmicos sobre los ecosistemas viene dada por el cumplimiento de las especificaciones que se fijen, relativas al aumento de la temperatura en los diversos ecosistemas. En España, en las autorizaciones de vertido, el incremento de temperatura admisible en el cauce receptor debido a las aguas de refrigeración no debe ser superior a 3°C. Con este valor tan pequeño difícilmente pueden ser importantes los efectos debidos a la contaminación térmica.

En centrales situadas en la costa, tales requisitos se satisfacen aumentando el caudal de refrigeración.

Cuando son Centrales localizadas en un río, un estudio de sus caudales y de sus características indicará si es posible la utilización del circuito abierto, o si bien deben usarse torres o estanques de refrigeración. Asimismo, siempre debe llevarse a cabo una evaluación de los beneficios producidos por la utilización del ecosistema en consideración y la magnitud de los efectos en él producidos. A la vista de los resultados, puede acudirse o no al empleo de un sistema de refrigeración del condensado.

Cuando los incrementos de temperatura admisibles en el cauce receptor son muy pequeños, es aconsejable disipar el calor mediante torres de refrigeración.

Dado lo costoso que resultan estas instalaciones, vale la pena evaluar bien previamente los efectos del impacto térmico sobre las comunidades del sistema béntico y del pelágico, en el caso de centrales junto al mar o de la biocenosis de ríos y lagunas.

## **PROGRAMA DE VIGILANCIA Y CONTROL AMBIENTAL. REDES DE VIGILANCIA**

El objetivo principal de un Programa de vigilancia radiológica ambiental es la determinación de la exposición real o potencial a que la población se ve sometida como consecuencia de la operación normal de Centrales

Nucleares y, como fines secundarios, la determinación, en la medida que sea posible de la correlación existente entre las cantidades de efluentes radiactivos evacuados al medio y la exposición a la población y la información al público, a través de los organismos competentes, de las citadas exposiciones.

Los Programas de Vigilancia radiológica ambiental a que nos referimos corresponden a las Centrales Nucleares de agua ligera en explotación normal.

La extensión y profundidad de la vigilancia depende fundamentalmente de las características del ambiente donde esté ubicada la instalación y, en consecuencia, las recomendaciones deben interpretarse con un sentido amplio y flexible basado en un análisis de cada caso particular.

Para otro tipo de instalaciones nucleares diferentes de las Centrales Nucleares de agua ligera, las recomendaciones deberían adaptarse a las características propias de los efluentes que las mismas liberan al medio ambiente.

El impacto radiológico atribuible a la explotación normal de una Central Nuclear deberá realizarse de forma rutinaria, como es la práctica mundial en este tipo de instalaciones. El proyecto de un programa de vigilancia radiológica ambiental comprende las tres partes siguientes:

- I. La red de vigilancia de la radiactividad.
- II. Los procesos de medida de la radiactividad en muestras representativas del aire, agua, gea, flora y fauna de la región potencialmente afectada.
- III. La evaluación de los resultados obtenidos, contraste con el nivel de referencia y con resultados anteriores y redacción del correspondiente informe para las autoridades de control.

Se entiende por Red de Vigilancia de la Radiactividad al conjunto de aparatos, equipos o sistemas destinados a la medida o registro de los niveles de radiación o grado de contaminación radiactiva del medio o de muestras del mismo, estadísticamente significativas, así como su localización zaciones que conlleva la implantación de estos proyectos. En igual sen-

## CRITERIOS DE SEGURIDAD Y DE PROTECCION RADIOLOGICOS

Hay que distinguir tres fases consecutivas en la determinación del riesgo radiológico asociado a una instalación:

- a) Licenciamiento.
- b) Operación.
- c) Clausura.

- a) En la primera fase, la del licenciamiento, se distinguen a su vez tres licencias o permisos consecutivos, algunos de los cuales, según sea el tipo de instalación a licenciar, no proceden:

- Autorización previa.
- Permiso de construcción.
- Permiso de puesta en marcha.

La estimación del riesgo radiológico ha de ser calculada de forma independiente tanto por el solicitante de una licencia como por el Consejo de Seguridad Nuclear, antes de la concesión de cada uno de los permisos citados y el resultado de tal estimación ha de estar de acuerdo con los criterios básicos que se indican posteriormente para proceder a informar favorablemente, si procede, a la autoridad licenciadora.

El cálculo de tal estimación se hace en dos situaciones:

- Operación normal.
- Accidente nuclear con consecuencias radiológicas a la población.

- b) En la fase de operación se determina el riesgo radiológico a través de dos conjuntos de datos, uno el procedente de los vertidos radiactivos, parámetros de difusión, usos del agua y de la tierra y la población afectada por aquéllos y otro el procedente del Programa de Vigilancia Radiológica Ambiental. Como en la fase anterior tal determinación ha de hacerse independientemente por el Consejo de Seguridad Nuclear y por el titular de la licencia. Los resultados obtenidos han de estar de acuerdo con las especificaciones im-

puestas por la autoridad licenciadora al conceder la autorización de puesta en marcha.

En ambas fases *a* y *b*, los modelos de cálculo, hipótesis y parámetros correspondientes se aplican a los siguientes pasos:

- Vertidos de radionucleidos.
- Transporte a través del medio.
- Efecto radiológico individual y colectivo.

Lo anteriormente indicado se refiere fundamentalmente a la estimación del riesgo individual y a la población. Además hay que considerar la protección radiológica del personal profesionalmente expuesto.

## INFORMES DE SEGURIDAD

La legislación nuclear, como el diseño y la explotación de las instalaciones nucleares, tienen un objetivo fundamental: la seguridad.

El lector puede observar por la lectura de este texto la innumerable cantidad de estudios, pruebas, controles, programas de vigilancia y autorizaciones que conlleva la implantación de estos proyectos. En igual sentido puede decirse que las medidas, equipos, instrumentos y salvaguardias que se toman en consideración en la construcción y explotación de Centrales Nucleares, son enormes y todo ello con el sólo fin de controlar el impacto radiológico sobre el ambiente.

Todas estas precauciones obedecen al desconocimiento del verdadero riesgo que entraña operar con estos reactores.

De acuerdo con todo lo anterior, en casi todos los países, las Centrales Termonucleares requieren las siguientes autorizaciones:

- A) Autorización previa.
- B) Autorización de construcción.
- C) Autorización de puesta en marcha, que consta a su vez de dos permisos: de explotación provisional y de explotación definitiva.

En cada una de estas autorizaciones, el C.S.N., emite un dictamen preceptivo de seguridad, que envía al Ministerio de Industria y Energía para

que resuelva sobre la autorización solicitada, y se recogen también los informes emitidos por otros organismos.

Todos estos trámites dan lugar a gran número de estudios previos y a los correspondientes «informes de seguridad».

Con todo ello se tiene bien estudiado el tema fundamental de la seguridad y el estudio analítico radiológico puede realizarse a fondo. Sin embargo, el estudio de evaluación de impactos ambientales es mucho más completo que el sólo impacto radiológico, con ser éste el más importante.

## EL IMPACTO RADIATIVO EN CASO DE ACCIDENTE

En una instalación tan compleja como una Central Nuclear no es posible conseguir la seguridad absoluta, ello supondría implantar soluciones prohibitivas desde el punto de vista técnico y económico. Siempre quedará un riesgo residual, por pequeño que sea, en el sentido de que se pueden producir accidentes de los que se deriven daños nucleares e impactos apreciables sobre el medio ambiente, si bien la probabilidad de tales accidentes resultará, en todo caso, muy pequeña.

La rama de la tecnología nuclear conocida por seguridad nuclear trata precisamente de analizar la frecuencia de tales accidentes y de determinar los daños e impactos ambientales que se pueden producir a la vista de un proyecto y de unas circunstancias determinadas. Los resultados obtenidos permiten a los proyectistas incorporar equipos o estructuras que reducen, por un lado, la frecuencia de los accidentes y, por otro, limitan sus consecuencias en el caso poco probable de que tales accidentes lleguen a producirse.

El análisis de los accidentes previsibles se hace en el llamado estudio de seguridad, que ha de ser presentado por la propiedad a la Autoridad, acompañando a la correspondiente petición de autorización. Antes de conceder ésta, la autoridad revisa el análisis de los accidentes suministrado por el solicitante y decide si la Central en cuestión puede ser construida y explotada de forma que el riesgo a ella inherente pueda ser aceptado.

La normativa de los distintos países especifica con claridad los criterios de seguridad y de protección radiológica que han de seguirse en la ubicación, proyecto de construcción, explotación e incluso en la clausura de las Centrales Nucleares. La normativa especifica también cual ha de ser el contenido, formato y programa de remisión de los distintos documentos, de acuerdo con el estado del proyecto.

De entre los países con normativa más completa en este sentido, es ne-

cesario citar a los EE.UU., y la República Federal de Alemania. Más recientemente, el Organismo Internacional de Energía Atómica, dentro de su programa NUSS, ya citado, ha redactado Guías de Seguridad específicas como recomendación a los países miembro.

En España la Junta de Energía Nuclear ha elaborado también numerosas Guías de Seguridad, ya citadas.

Dada la influencia que han tenido en todos los países los modelos de los EE.UU., en especial a causa de que éste es el principal suministrador de nuestras instalaciones nucleares, el problema se ha resuelto adoptando de hecho, aunque no de jure, la normativa vigente en los EE.UU., de tal modo que se puede afirmar que las Centrales Nucleares se han proyectado, construido y se están explotando siguiendo los mismos criterios que en el país origen del proyecto, más aún teniendo en cuenta que en España uno de los criterios de Seguridad se basa en el seguimiento exacto de la «Central de referencia».

El análisis de los riesgos asociados a las Centrales Nucleares requiere la determinación, por separado, de las frecuencias de los accidentes y de los daños por ellos causados. De hecho, el riesgo se puede expresar de forma matemática como el producto de ambos factores. En la industria convencional, ambos factores se determinan mediante análisis actuariales, con base en circunstancias accidentales reales. En industrias nuevas, con un limpio expediente de seguridad, tal método no puede utilizarse, siendo entonces necesario acudir a la inferencia estadística.

Hasta recientemente no se disponía de procedimientos de cálculo satisfactorios, ni de datos de partida que permitiesen una aplicación profunda de este método. Por esta razón, el análisis de los riesgos se hacía de forma determinista y no probabilista. A pesar de los trabajos pioneros de canadienses e ingleses, y los más recientes plasmados en el llamado Informe Rasmussen, o Reactor Safety Study, en los EE.UU., y en el Risikostudie, o Informe Birkhoffer, en la República Federal de Alemania, la utilización del método probabilista es muy complejo y difícil.

Por las razones anteriores, la normativa de los EE.UU., define lo que se llaman accidentes base de diseño de los sistemas de seguridad y de las salvaguardias tecnológicas, de modo que, de ocurrir los accidentes que se postulan, la Central sería capaz de hacer frente a tales eventualidades sin daño para los miembros del público, aún en el supuesto de que no todos los componentes cumplan satisfactoriamente la misión para la que fueron proyectados.

De entre los accidentes postulados, se elige uno de ellos, llamado acci-

dente máximo previsible, en el que se supone la rotura de la barrera de presión y el daño al núcleo del reactor, con escape de cantidades significativas de los productos de fisión allí contenidos. En estas circunstancias, el proyecto del recinto de contención y de sus salvaguardias tecnológicas asociadas ha de ser de tal forma que los daños nucleares potencialmente recibidos por la población afectada no sean superiores a los valores que se fijan en la definición de la zona bajo control del explotador y en la zona protegida, limitados a la cuarta parte de un sievert, a todo el cuerpo, o un sievert y medio a la glándula tiroides, valores de los que no cabe esperar efectos somáticos ni genéticos importantes. Aunque no se limiten, de forma explícita, los daños económicos producidos, ni los contaminantes del medio ambiente, éstos han de ser también considerados.

Es importante la determinación de los parámetros básicos de distancia a la Central y niveles de referencia para las distintas actuaciones previstas en el plan de emergencia.

La tendencia es la protección de las personas hasta distancias de alrededor de quince kilómetros en la nueva normativa de los EE.UU., si bien tal protección no requiere necesariamente la evacuación, que sólo debe hacerse de poderla realizar de forma ordenada y segura. Lo que se pretende es poder proteger a la población potencialmente afectada mediante el recogimiento en sus viviendas, o en refugios apropiados, o mediante la administración de fármacos que bloqueen la absorción del yodo por la glándula tiroides.

## IMPACTO SOCIOECONOMICO DE LA CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO DE LA CENTRAL

Este capítulo recogerá la valoración hecha por el licenciario de los efectos económicos y sociales de la construcción y puesta en marcha de la Planta Nuclear propuesta.

Hay que destacar las muchas limitaciones que presenta la valoración que puede hacer el solicitante de los beneficios económicos y sociales, así como de los costos de la construcción y puesta en marcha de una instalación nuclear, que pueda tener una vida productiva de 30 años o más. La gran variedad de beneficios y costos es no solamente difícil de valorar, sino que también puede no ser susceptible de cuantificación e incluso de estimación en unidades mensurables. Algunos beneficios primarios, tales como la energía eléctrica generada, son cuantificables hasta cierto punto,

así como lo son también los costos de capital y los de operación y mantenimiento de la instalación propuesta. Sin embargo, hay numerosos costos ambientales que, al igual que sus consecuencias sociales y económicas, no pueden ser realmente cuantificables.

En segundo lugar, los costos y beneficios de orden superior, por ejemplo: impactos secundarios derivados de los efectos primarios, tanto económicos como sociales, sólo se describirán cuando modifiquen significativamente la suma de costos y beneficios, en forma tal que afecten al balance coste-beneficio en su totalidad.

### Beneficios

Los beneficios primarios de la Planta Nuclear propuesta, son los inherentes al valor de la energía eléctrica proporcionada a los consumidores. El solicitante deberá informar sobre la media anual de energía eléctrica generada, medida en kilowatios/hora. Además deberá incluir las previsiones de funcionamiento para la Central objeto de estudio contenidas en el Plan Energético.

Se detallará la contribución e importancia de la instalación propuesta en la capacidad generadora de energía eléctrica para garantizar un suministro fiable. Se indicarán también las posibles insuficiencias de energía eléctrica que se plantearían si la planta propuesta (o su capacidad equivalente) no estuviera construida en la fecha prevista. Igualmente se valorarán los probables impactos sociales y económicos de tales insuficiencias. Los beneficios de la previsión de estos impactos deberá referirse a experiencias concretas si las hubiera, así como a las medidas adoptadas para resolver estas emergencias.

Si se ha previsto ampliaciones futuras, se señalarán los efectos posibles de las unidades generadoras adicionales en el futuro y en el mismo emplazamiento.

Otros beneficios primarios de algunas instalaciones nucleares para la generación de energía eléctrica, pueden ser la venta de vapor u otros productos o servicios. El uso del calor sobrante para desalinización u otros procesos, puede aumentar los beneficios de las plantas nucleares. En caso de que se consideren deberán describirse y evaluarse si existe una alta probabilidad de realización.

Existen otros beneficios sociales y económicos que afectan a varias jurisdicciones o intereses políticos, en mayor o menor grado. Algunos de éstos representan una transferencia de pagos u otros valores, que pueden

ser parcialmente, sino en su totalidad, compensados por algunos servicios, así como los costos externos y ambientales y este hecho deberá reflejarse en la determinación del beneficio final. A continuación se mencionan algunos ejemplos:

- Ingresos a recibir por gobiernos autónomos o corporaciones locales en concepto de impuestos, tasas o cánon de energía.
- Nuevos puestos de trabajo creados con carácter permanente o temporal y el importe correspondiente a sus nóminas.
- Incremento por el concepto de valor añadido en el producto regional.
- Intensificación de los valores recreacionales al hacer accesibles al público cualquier tipo de parques, lagos artificiales, marinas, etc.
- Incremento de los valores estéticos, debido a medidas especiales adoptadas en el diseño de estructuras, lagos artificiales, canales, parques, acondicionamiento de espacios naturales, etc.
- Mejoras ambientales que pueden redundar en la protección o propagación de la fauna, así como la mejora de los habitats de la misma.
- Creación y mejora de carreteras locales, puertos u otros sistemas de transporte.
- Un mejor conocimiento del medio ambiente, como consecuencia de la actividad ecológica y ambiental, consecuente al funcionamiento de la Planta y a las mejores tecnológicas debidas al programa de investigación del licenciatarío.
- La creación de una fuente de descarga de calor que puede ser aprovechada para usos prácticos (por ejemplo: acuicultura, mejora de la pesca comercial y deportiva o en la calefacción comercial, industrial o residencial).
- Creación de instalaciones públicas educativas (por ejemplo: un Centro de Visitantes).
- Ahorros anuales en el consumo de petróleo importado para la generación de energía eléctrica.
- Sustitución de carbón, reduciéndose así los enormes costos sociales y ambientales, que supone la generación de energía eléctrica con carbón

(muertes de mineros, miles de pensiones de invalidez permanente, efectos de las lluvias ácidas sobre el suelo, vegetación y cursos de agua y otros deterioros ambientales muy significativos).

El solicitante describirá los aspectos beneficiosos consecuentes a la construcción y puesta en marcha de la planta propuesta. Cuando los beneficios puedan expresarse en términos económicos, deberán ser estimados a su valor actual. En cada beneficio descrito, el solicitante indicará, hasta donde sea posible, quienes serán los afectados y durante cuanto tiempo. En el caso de los impactos estéticos, el solicitante suministrará ilustraciones de las partes más significativas de la planta o de las modificaciones visibles por el público, además de los parques o cualquier otra instalación recreativa, que sea susceptible de uso público.

### Costos

Los costos económicos y sociales resultantes de la ubicación y construcción de la Planta Nuclear propuesta y de su puesta en marcha son igualmente complejos y deben ser cuantificados hasta donde sea posible. Los principales costos internos son:

- a) Costo de la adquisición del terreno y mejora del mismo.
- b) Costos de construcción de las instalaciones.
- c) Costos de las instalaciones de transmisión y distribución.
- d) Costos de combustible, incluyendo el consumido durante el período previo a la puesta en marcha.
- e) Otros costes de operación y mantenimiento, incluyendo los gastos de licencia e impuestos.
- f) Costos de investigación y desarrollo relacionados con las mejoras futuras de la planta, su funcionamiento y mantenimiento.
- g) Costos financieros.

El solicitante estimará estos costos a su valor actual. Se suministrará información referente a la energía generada con combustible nuclear y alternativas de generación eléctrica con otros combustibles (carbón y petróleo). En el cálculo de alternativas deberá suministrar información tanto

para la Planta de carbón con equipo para desulfurar los gases de combustión como para las de consumo de carbón de bajo contenido en azufre, valorando los efectos de las lluvias ácidas sobre el suelo, vegetación y cursos de agua.

El informe ambiental incluirá el costo estimado de generación de la energía eléctrica por kilowatio/hora de la Planta Nuclear propuesta y para las alternativas de las plantas de combustibles fósiles, antes citadas. Deberá determinarse si los costes de combustible, operación y mantenimiento son costos iniciales o calculados para un período de trabajo y, en este último caso, sobre qué presunciones se han basado.

Existen igualmente costes externos. Deberán examinarse sus efectos sobre los intereses de la comunidad. El solicitante suministrará una evaluación apoyada en datos racionales, referente a estos costes económicos externos, tal como se describen más adelante. Para cada coste, el solicitante deberá describir el número probable de los lugares y los grupos de población afectados negativamente, el impacto estimado económico y social y cualquier tipo de medidas especiales que se adopten para mitigar este impacto.

Los costes temporales externos incluyen: insuficiencia de viviendas; precios y alquileres inflacionarios; congestión de las calles y carreteras locales; molestias temporales estéticas y auditivas; sobrecarga en el suministro de agua e instalaciones para el tratamiento de basuras; aglomeración en las escuelas locales, hospitales u otros servicios públicos; saturación de los servicios comunes y los inconvenientes causados a la comunidad o al hábitat de las gentes por la adquisición del terreno para la instalación propuesta.

Los costos externos a largo plazo incluyen deterioros de los valores recogidos (ejemplo: reducción en la disponibilidad de las especies valiosas de fauna y pesca deportiva, restricción en los accesos al terreno o áreas de agua, dedicadas al uso recreativo); deterioro de valores estéticos y paisajísticos; restricciones al acceso a áreas de interés paisajístico, histórico o cultural; degradación de áreas con valor histórico, cultural, natural o arqueológico; cambio de los usos del terreno; creación de condiciones meteorológicamente adversas, nieblas y penachos procedentes de las torres de refrigeración; balsas de enfriamiento y estanques; producción de ruido, especialmente por el tiro mecánico de las torres de enfriamiento; reducción de los productos regionales debido al desplazamiento de personas del terreno propuesto para el emplazamiento de la planta; pérdida de ingresos procedentes de actividades recreativas o turísticas, que pueden verse afec-

tadas por las molestias ambientales; pérdida de ingresos de la población dedicada a la pesca, que sean atribuibles a la degradación ambiental; devaluación de las propiedades en áreas adyacentes a la instalación propuesta e incrementos de los costos de los gobiernos locales por los servicios necesarios para la atención a los trabajadores empleados permanentemente, así como a sus familias. En la descripción de los costes, el solicitante deberá indicar en la medida de lo posible, quienes se verán probablemente afectados y durante cuanto tiempo.

### SUMARIO DEL ANALISIS COSTE-BENEFICIO

Este capítulo deberá demostrar mediante un análisis coste-beneficio de la Planta propuesta, las razones por las que el solicitante considera que los beneficios agregados tienen mayor peso específico que los costes agregados. La Autoridad Ambiental preparará por su parte un análisis coste-beneficio independiente sobre la Planta propuesta dentro del Informe Ambiental; no obstante, el solicitante deberá realizar su propio análisis para ayudar a la evaluación antes citada.

Si bien el análisis aproximado de coste-beneficio descrito en esta Guía es conceptualmente similar al empleado clásicamente en un contexto puramente económico, el método difiere en cuanto a su procedimiento. Ello se debe a que los beneficios y costes a evaluar no pueden ser valorados económicamente por el solicitante. La naturaleza de muchos de los beneficios y costes no cuantificables hace virtualmente imposible efectuar una tasación concreta de la relación coste-beneficio en términos cuantitativos clásicos. Aunque no resulta claramente factible en este caso una valoración numérica de los beneficios y los costes, el solicitante deberá valorar los factores sobre unas bases de juicio que resulten coherentes con el concepto fundamental de un análisis costo-beneficio.

El solicitante deberá demostrar que los beneficios de la Planta propuesta serán superiores a los costos agregados.

Al presentar el análisis costo-beneficio, el solicitante deberá considerar primero los beneficios que se han identificado y descrito. En segundo lugar, el solicitante considerará los costos ambientales derivados de la generación y los de otros costos citados. Ambos factores se deberán sumarizar en forma tabular.

Finalmente hay que señalar que es conveniente desarrollar programas

educativos y de divulgación y un Centro de acogida para los visitantes de la Central.

Esto es necesario porque a pesar de que se ha probado que la seguridad de estas industrias, hasta la fecha es prácticamente total y que se trata de la alternativa de generación de energía eléctrica más limpia y más sana desde el punto de vista ambiental, existe todavía una falta de información muy grande en la población.

También resulta la alternativa más económica.

## Aspectos legales e institucionales de las E.I.A.

### MARCO JURIDICO Y ADMINISTRATIVO. PROCEDIMIENTOS

La necesidad de insertar en el proceso de decisión de la ejecución de las obras y proyectos de desarrollo las consideraciones ambientales requiere disponer de un marco jurídico-administrativo, que permita instrumentar tal integración.

Por ello se exponen ampliamente los procedimientos empleados en varios países, por entender que el análisis de las experiencias jurídico-administrativas extranjeras puede ser una ayuda para la implantación sistemática y rigurosa de estos estudios en España y otros países.

Las normas contenidas en la legislación ambiental existente y las disposiciones y consultas con los órganos administrativos oficiales son el conjunto denominado «procedimientos», es decir que se entiende por procedimientos a los condicionamientos administrativos y legales que regulan y afectan a los estudios de impacto ambiental.

Las evaluaciones de impacto ambiental pueden integrarse en dos tipos de procedimientos, bien sea estableciendo un marco jurídico y administrativo «ad hoc» o bien introduciéndolas en la estructura administrativa existente, regulando o no jurídicamente su realización.

Las evaluaciones de impacto ambiental son un conjunto de estudios e información que debe incluir un análisis completo de la incidencia ambiental de una acción. Se elabora a petición de la Administración de cada país —o simplemente por exigencias legales de los países mismos— con

el fin de que las decisiones ejecutivas se efectúen sobre la base de un conocimiento riguroso de la acción propuesta y unas alternativas debidamente consideradas.

¿En qué consiste una evaluación de impacto ambiental? En cualquier obra o proyecto de desarrollo se solían preparar una serie de estudios que proporcionaban los puntos de vista económicos y de ingeniería, y en los que se analizaban la necesidad del programa (justificación del proyecto) y las relaciones entre costes y beneficios monetarios. Pero últimamente la sociedad está pidiendo que se tomen en cuenta los aspectos ambientales, y por ello se viene exigiendo un estudio detallado de los efectos sobre el medio ambiente del proyecto en cuestión, comprendida una valoración de los costes ecológicos además de los monetarios.

Este conjunto de evaluaciones: la tecnológica, la monetaria en coste-beneficio directo y estrictamente económico, y la ecológica, debe efectuarse paralelamente y en forma integrada. Todo ello junto es lo que constituye la evaluación de impacto ambiental.

En el fondo, lo que persiguen estos trabajos es disponer de una información real, rigurosa y objetiva sobre el impacto ambiental de determinados programas o proyectos de desarrollo en una zona o región, para someterla a las autoridades competentes y a la opinión pública. Es como una «información pública». Todos los que de un modo u otro se vean afectados por el programa o proyecto de desarrollo, podrán así hacer llegar a las autoridades o a las personas responsables de su ejecución, las objeciones o las sugerencias que deseen, pero —aquí está lo importante— con base en un amplio y profundo conocimiento del tema.

Las evaluaciones de impacto ambiental aparecen en Estados Unidos al promulgarse la NEPA, (National Environmental Policy Act) de 1 de enero de 1970, su Ley nacional de política ambiental norteamericana. La reglamentación e implantación de las directrices de los estudios de impacto se emitieron en los Estados Unidos en 1973 y fueron revisadas posteriormente en 1978.

El principal objetivo de esta ley es asegurar que los problemas ambientales reciban la debida atención en todos los niveles de planificación, de la ejecución y de las acciones gubernamentales.

Como es natural, los Estados Unidos de América, son el país que ha avanzado más en esta materia, y, en realidad, es el que mejor ha institucionalizado las declaraciones de impacto ambiental, puesto que fueron los pioneros en esta materia.

Casi todos los países se han apoyado en la normativa, procedimientos

y técnicas de evaluación de los Estados Unidos para la implantación de las E.I.A., en sus naciones.

A continuación se exponen los procedimientos que se siguen en los siguientes países:

- España
- Estados Unidos de América
- Canadá
- México
- Brasil
- Argentina
- Comunidad Económica Europea
- Francia
- República Federal Alemana
- Holanda
- Israel
- Japón
- Unión Soviética

No se tratan homogéneamente los aspectos legales e institucionales relacionados con la implantación y desarrollo de este instrumento de la política ambiental, porque lo que realmente se pretende es exponer un espectro amplio de la normativa existente y de las prácticas que se siguen en países de zonas geográficas, sistemas políticos y organización administrativa muy distintos.

Por ello, se han seleccionado los países que permiten un tratamiento casuístico significativo, en lo que respecta al marco jurídico y administrativo.

En algunos casos, se hace hincapié en el proceso de participación ciudadana (Canadá); en otros se detalla ampliamente el contenido que se ha previsto deberían tener estos estudios (EE.UU) o bien se exponen tendencias globales, como es el caso de las previsiones y directivas de la Comunidad Económica Europea.

## ESPAÑA

En España en materia de evaluaciones de impacto ambiental y su consiguiente presentación a la Administración en forma de dictamen o informe —o de evaluaciones hechas por la propia Administración—, hasta ahora sólo se ha legislado en lo que se refiere a una parte del impacto físico, que es la contaminación atmosférica.

Hay mucha legislación dispersa, que no es fácil de aplicar y que es muy poco eficaz.

En concreto, el tema de las evaluaciones de impacto ambiental no está regulado de forma explícita. Sólo se hace una mención en una Orden del Ministerio de Industria sobre contaminación atmosférica. En esta misma Orden se piden una serie de estudios que en su conjunto son evaluaciones de impacto, pero parciales. Y desde luego lo que no hay son declaraciones de impacto ambiental, o sea, el poner a disposición de la opinión pública la documentación y datos contenidos en una evaluación de impacto, para su conocimiento y opinión.

Por consiguiente, vamos a ver lo poco que hay del tema, de un modo explícito y que se refiere a contaminación atmosférica, residuos y vertidos líquidos.

Los preceptos fundamentales en España sobre contaminación atmosférica están recogidos en la siguiente legislación:

1. Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico («Boletín Oficial del Estado» del 26 de diciembre de 1972).
2. Decreto del Ministerio de Planificación del Desarrollo 833/1975, de 6 de febrero, por el que se desarrolla la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico (Reglamento de Contaminación Atmosférica, que desarrolla la ley anterior) («Boletín Oficial del Estado» del 22 de abril de 1975).

3. Orden del Ministerio de la Gobernación de 10 de agosto de 1976, por la que se establecen las normas técnicas para el análisis y valoración de los contaminantes de naturaleza química presentes en la atmósfera («Boletín Oficial del Estado» del 5 de noviembre de 1976).
4. Orden del Ministerio de Industria de 18 de octubre de 1976, sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera («Boletín Oficial del Estado» del 3 de diciembre de 1976). Esta Orden y la anterior son desarrollo del Decreto 833/1975 y de la Ley 38/1972.

Hay, además, otras disposiciones que regulan las emisiones de contaminantes procedentes de los vehículos automóviles; los combustibles y las posibles ayudas económicas y estímulos de carácter fiscal para el control de la contaminación atmosférica, entidades colaboradoras, etc.

Respecto a las evaluaciones de impacto, es en la Orden ministerial mencionada en el número 4 donde en cierto modo se regulan. El artículo 2º, 1, a), de la misma señala lo siguiente:

“A la Dirección General de Promoción Industrial y Tecnología (del Ministerio de Industria) competen las siguientes funciones en el campo de la lucha contra la contaminación atmosférica de origen industrial:

- a) El estudio de los proyectos de nuevas industrias potencialmente contaminadoras de la atmósfera y ampliación de las existentes, al objeto de enjuiciar la eficacia de las medidas correctoras previstas y evaluar el impacto ambiental de tales actividades...”

Para cumplir este objetivo la citada Orden, en el artículo 8.º, punto 1, exige que se presente un proyecto específico, que debe contener los datos técnicos necesarios para el adecuado enjuiciamiento de la actividad desde el punto de vista de su incidencia sobre el medio ambiente atmosférico, así como las medidas correctoras propuestas, los cuales podrán, según las características del proyecto y circunstancias que concurren en cada caso, abarcar algunos o la totalidad de los siguientes aspectos:

- a) Tipo de actividad, volúmenes de producción previstos, inversiones necesarias y plazo de ejecución. Superficie de los terrenos sobre los que está instalada la planta.
- b) Breve descripción y diagrama de los procesos de fabricación y ser-

vicios. Plano general de la planta, señalando los puntos de emisión de contaminantes a la atmósfera.

- c) En el caso de generadores de vapor industriales, potencia del hogar.
- d) Procedencia, proveedores, tipo, consumo máximo horario y total anual y características medias de los combustibles que se tiene previsto utilizar.

En el caso de instalaciones térmicas de carbón de potencia igual o superior a 8.000 termias/hora, se presentará un análisis completo del carbón, de un mínimo de diez muestras representativas, de acuerdo con las normas establecidas al respecto; dicho análisis —que será efectuado por el Instituto Nacional del Carbón u otra entidad que designe la Dirección General de la Energía— incluirá los análisis inmediato y elemental, así como el análisis complementario (azufre «pirítico», azufre «sulfato», azufre «orgánico» y azufre «fijo», carbonatos, halógenos, fósforo y arsénico) y análisis de cenizas. Cuando la Dirección General de Promoción Industrial y Tecnología lo estime conveniente, se podrá exigir el anterior análisis en instalaciones térmicas de cualquier potencia.

- e) Especificaciones medias de las materias primas que se van a utilizar en el proceso de fabricación y que tengan influencia sobre las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

Consumo máximo horario y total anual de las mismas.

- f) Descripción de los medios previstos para disminuir la contaminación, ya sea por elección de una tecnología limpia o instalación de depuradores. Principales características de los depuradores, con indicación de su eficacia y costo presupuestado. Medidas previstas en caso de avería de los mismos. Dispositivos automáticos de regulación de las instalaciones de combustión o de proceso, en su caso.
- g) Características de los instrumentos de medida manual o automática de las emisiones de contaminantes y eventualmente de las inmisiones, en el supuesto de que vayan a ser instalados, ya sea por exigencias reglamentarias o por decisión potestativa. Normas de homologación a que responden.
- h) Altura y diámetro de cada chimenea y su ubicación en el plano a que se refiere el apartado b) anterior. Memoria justificativa de

los cálculos de altura de la chimenea, de acuerdo con lo señalado en el artículo 10 de esta Orden.

- i) Caudales máximo y medio, en m<sup>3</sup> N/h., para cada foco puntual, de las emisiones gaseosas previstas en cada proceso industrial y concentración de cada tipo de contaminantes antes de su paso por las instalaciones depuradoras y a la salida de las mismas. Se indicará también la cantidad en peso de los contaminantes emitidos por unidad de producto fabricado.
- j) Velocidad y temperatura de los efluentes a la salida de las chimeneas.
- k) Cantidad y destino de los polvos que se recogerán en los filtros, con indicación de si se obtendrán en estado seco o húmedo. En este último caso se indicará la concentración de los lodos y el tratamiento previsto para su desecación o para el vertido de las aguas residuales.
- l) Mapa geográfico (escala 1:25.000 o, en su defecto, 1:50.000) de la zona circundante a la planta en un radio de acción de 20 kilómetros para las industrias del grupo A del catálogo de actividades potencialmente contaminadoras de la atmósfera y de ocho kilómetros para las del grupo B, señalando la posición de la industria con respecto a los lugares habitados más cercanos, con indicación del número de habitantes de cada localidad. En dicho mapa deben croquisarse las masas arbóreas o cultivos agrícolas existentes, con indicación de sus características.
- m) En las industrias del grupo A, en que la Dirección General de Promoción Industrial y Tecnología lo estime conveniente, se indicará el nivel de contaminación de fondo de la zona utilizado para el cálculo de la altura de las chimeneas. Dicha información será suministrada por la Red Nacional de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica y abarcará un período máximo de un año. Cuando no exista Centro de Análisis de la Contaminación Atmosférica en la zona, se podrá exigir la presentación del estudio correspondiente realizado por un Centro Homologado de Estudios de la Contaminación Atmosférica y recabar el dictamen del Servicio Meteorológico Nacional de que no son previsibles situaciones graves de alteración atmosférica que puedan dificultar la dispersión de contaminantes.

- n) En el caso de industrias cuyo volumen de emisión de anhídrido sulfuroso sea superior a 100 kg/h., se indicarán los datos meteorológicos precisos que han servido de base para los estudios de dispersión de contaminantes. Dichos datos procederán del Servicio Meteorológico Nacional, siempre que estén disponibles.
- o) Relación de personal técnico que se encargará del servicio de lucha contra la contaminación atmosférica en la planta industrial, en el caso de que estuviera previsto potestativamente o fuera exigible de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 37 de esta Orden.
- p) Cuando, a juicio de la Dirección General de Promoción Industrial y Tecnología, el volumen de emisión de contaminantes sea muy elevado para la zona donde se instale la planta industrial, se indicarán las medidas previstas en caso de paradas, averías o accidentes, tanto en el proceso de fabricación como en los equipos de depuración, con indicación del tiempo máximo necesario para reducir la emisión accidental de contaminantes con la aplicación de las medidas de emergencia previstas y de la frecuencia de las paradas teóricamente previstas o programadas. Dichas medidas deberán ser aprobadas por el citado centro directivo, de acuerdo con la Dirección General sectorial competente por razón de la actividad.

A la vista de lo anterior puede inferirse que realmente si el proyecto o estudio que se presente contiene toda la información que se pide, puede realizarse una evaluación de impacto físico parcial (puesto que sólo se contempla la contaminación) y que, según señala el punto 1, a) del artículo 2.º de esta Orden, la evaluación del impacto sería efectuada por el Ministerio de Industria.

Sin embargo, en este mismo artículo 8.º, en el punto 4, se indica lo siguiente:

“El Ministerio de Industria podrá solicitar cualquier información complementaria que estime necesaria para enjuiciar la incidencia que la instalación proyectada pueda tener sobre el nivel de contaminación de la zona e, incluso, podrá exigir, cuando exista presunción de que los niveles de inmisión de la zona estén próximos a ser rebasados o puedan producirse otros perjuicios importantes sobre el medio ambiente atmosférico, la presentación de un estudio de impacto ambiental, realizado por un Centro Homologado de Estudios de la Contaminación Atmosférica, de acuerdo con lo previsto en el artículo 45 de esta Orden, y ajeno a la empresa industrial promotora del proyecto. El citado estudio deberá analizar, cuan-

do existieran masas arbóreas o cultivos agrícolas dentro de los radios de acción citados en el apartado 1) del número 1 de este artículo, la incidencia de las emisiones de la industria sobre dichas masas arbóreas o cultivos agrícolas con lo cual no queda muy claro qué evaluaciones de impacto se hacen.

En general, la legislación española no es coherente, y sobre todo no es cumplible, en parte porque es demasiado exigente y, sobre todo, por echar sobre los hombros de la Administración unas tareas y cargas que no puede realizar por falta de medios humanos y económicos.

Posteriormente a la promulgación de la legislación citada se han preparado otros proyectos de normas, entre los que destaca el de la Ley General del Medio Ambiente.

El anteproyecto de Ley General o Ley Básica para la protección del medio ambiente incluye, como instrumento muy importante para la realización de una política ambiental preventiva, la necesidad de efectuar estos estudios e informes de impacto en los proyectos o acciones que tengan una importante incidencia sobre el entorno.

El citado anteproyecto señala al respecto lo siguiente:

«El órgano administrativo encargado de la gestión ambiental, podrá hacer la declaración de estar incurso cualquier actividad en grave incidencia ambiental y exigir un informe de impacto ambiental antes de proceder a su autorización.

El informe de impacto ambiental será vinculante.

1. Las actividades públicas o privadas que puedan alterar sensiblemente el medio ambiente requerirán un previo estudio de impacto ambiental y la correspondiente autorización administrativa. Dichas actividades serán definidas por Decreto.
2. Se entiende por evaluación del impacto ambiental el resultado de los estudios encaminados a identificar, predecir, interpretar y prevenir las consecuencias o los efectos que determinados proyectos, planes o acciones pueden causar a los distintos sectores del medio ambiente.

Dicho estudio, que debe presentar el titular de la actividad proyectada, contendrá los siguientes aspectos:

- a) Descripción general del proyecto o acción.

- b) Consideración de las posibles alternativas a la acción del proyecto.
- c) Previsiones a medio y largo plazo.
- d) Descripción del proyecto en sus aspectos físicos, con una evaluación de la naturaleza y magnitud de los efectos ambientales previsibles, así como una descripción de las salvaguardias y medidas correctivas previstas para limitar o reducir los deterioros.
- e) Identificación de los aspectos socioeconómicos implicados en el proyecto.
- f) Estudio del entorno ambiental, con un análisis del estado inicial del lugar previsto para la localización del proyecto o acción.
- g) Relación de factores ambientales e indicadores del impacto del estudio, así como detalle de la metodología seguida en el mismo.
- h) Evaluación del impacto ambiental de la acción o proyecto.

3. A la vista del estudio y de las comprobaciones que lleve a cabo el órgano ambiental superior correspondiente, y tras un período de información pública no superior a 30 días, podrá informar favorablemente el proyecto o exigir que se modifique el mismo, se utilicen tecnologías alternativas o proponer una nueva localización».

## ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

La promulgación por el Senado Americano de una Ley de protección ambiental «National Environmental Policy Act» (NEPA), es el origen de la estructura administrativa, técnica y económica del país en materia ambiental.

La National Environmental Policy Act (NEPA) 1970, sentaba bases para que las agencias federales incluyesen en cada propuesta de acción (que pudiera afectar significativamente la calidad del ambiente), un informe detallado de la acción.

Se establecieron en marzo de dicho año, las directrices provisionales para la preparación de los informes de impacto ambiental.

Estas directrices fueron revisadas en 1973 para asegurar que, junto a los aspectos técnicos y económicos se tenían en cuenta en los dictámenes aquellos parámetros ambientales no cuantificables.

Por medio de esta ley, se obliga a los departamentos y agencias federales a que mejoren, coordinen y orienten sus planes y programas de desarrollo con vistas a:

- Reducir los efectos ambientales a largo plazo.
- Al derecho de la sociedad a un entorno ambiental seguro, sano y estético.
- A una utilización múltiple de los recursos ambientales.
- A la protección del patrimonio nacional.
- A un desarrollo equilibrado de población y recursos.
- A un reciclado de recursos no renovables.

La implantación de la ley ha llevado a las agencias federales a una reorganización de la estructura y sus procedimientos para acoplarse a las im-

posiciones de la NEPA, sobre todo en el campo de los dictámenes de impacto ambiental.

A nivel jurídico, la ley se ha interpretado como un compromiso formal de la Administración de la nación de mantener y mejorar la calidad ambiental del pueblo americano.

Sin embargo, han surgido detractores de la ley, en particular con respecto a las secciones que hacen referencia a las evaluaciones de impacto ambiental.

Las protestas, denuncias, recursos, han sido recogidas por la Cámara de Representantes del Congreso, en su Comisión de Problemas Energéticos, y ha anulado algunos aspectos parciales de la NEPA.

Fundamentalmente son dos los motivos que han provocado dicha anulación:

- Escasez de energía y política energética más tolerante respecto a la protección del medio ambiente.
- Efectos dilatorios de una evaluación ambiental en aquellos proyectos nuevos con orientación energética.

Una institución muy importante es el Consejo de Calidad Ambiental (COUNCIL OF ENVIRONMENTAL QUALITY —C.E.Q.—). Es un cuerpo coordinador y asesor en la rama ejecutiva del Gobierno. Su creación es paralela a la promulgación de la NEPA.

El Consejo de Calidad Ambiental consta de tres miembros directamente nominados por el Presidente de los Estados Unidos y tiene bajo su responsabilidad las siguientes funciones:

- Preparación de una memoria anual sobre calidad ambiental, es el informe anual sobre el estado del medio ambiente en el país.
- Supervisión y análisis de la información concerniente a situación actual y futura de la calidad ambiental.
- Revisión y valoración de los programas federales y de aquellas actividades relacionadas con la política de la NEPA.
- Recomendar y desarrollar ante el Presidente todo tipo de política nacional encaminada a promover la mejora de la calidad ambiental.
- Dirigir estudios, investigaciones y análisis relacionados con los sistemas ecológicos y de calidad ambiental.

Por otra parte, la Agencia de Protección del Medio Ambiente (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY —E.P.A.—), ha sido fundamental para la ejecución de la política ambiental.

La Environmental Protection Agency (EPA) se creó como consecuencia de la reorganización de la rama ejecutiva, que conllevaba la consolidación de los programas federales relacionados con la contaminación atmosférica, del agua, tratamiento y eliminación de residuos sólidos, regulación de pesticidas y otros.

La EPA es la agencia responsable de la administración y ejecución de todos los programas federales del control de la contaminación y su objetivo final es conseguir una buena calidad ambiental por vía de reducción máxima de contaminación, conservación de los equilibrios biológicos y utilización racional de los recursos.

La EPA es pues como organismo de control, el que detenta la responsabilidad de revisar y valorar las E.I.A., que les presenten otras agencias federales.

Cuando la EPA valora un informe como negativo desde el punto de vista de «la salud, el bienestar social o la calidad ambiental», lo envía al Consejo de Calidad Ambiental para su revisión.

Normalmente, el Consejo sólo revisa aquellos informes en los que existen intereses contrapuestos de varias agencias federales. El Consejo actúa únicamente como asesor, aunque su opinión es de decisiva trascendencia.

El Consejo, dentro del campo específico de las E.I.A., tiene las siguientes competencias:

- Responsabilidad administrativa y directiva de las E.I.A.
- Responsabilidad de emitir las directrices para la preparación y revisión de estos dictámenes.

Un informe de impacto ambiental es necesario siempre que una agencia federal se propone realizar un proyecto de gran envergadura que es probable que afecte significativamente la calidad del medio ambiente. Por tanto las tres condiciones que deben cumplirse son:

- Que el proyecto sea federal.
- Que el proyecto sea de gran envergadura, y
- que pueda afectar significativamente el ambiente.

Dentro de la denominación federal se consideran todos aquellos proyectos que necesitan una licencia o permiso federal, aún en el caso de que

dichos proyectos estén subvencionados, construídos y operados por empresas privadas (éste sería el caso por ejemplo, de una planta de energía nuclear).

También se consideran federales un amplio grupo de proyectos incluídos en las actividades subvencionadas por el gobierno federal. Si un proyecto tiene subvenciones federales, todo el proyecto se considera como federal para los objetivos de la NEPA.

Finalmente hay un tercer grupo de actividades que son aquellas directa y completamente realizadas por una agencia federal.

En cuanto a la denominación de gran envergadura se considera menos importante y si la agencia federal decide que un proyecto puede tener incidencia significativa sobre el medio ambiente, este proyecto, cualquiera que sea su envergadura, pasa automáticamente a ser considerado de gran envergadura, pasándose a la ejecución de un informe de impacto ambiental.

Suponiendo que la acción es federal, la condición fundamental, es pues, si va a alterar significativamente el medio ambiente, considerando como tal no solamente los temas clásicos de contaminación sino también aquellos temas relacionados con el medio ambiente social. Los efectos adversos además han de ser calibrados no solamente en términos absolutos, sino también en términos del grado de degradación ya existente en el área afectada, para evitar acumulaciones de efectos que podrán ser desastrosos, aún en el caso de pequeños proyectos.

Generalmente la responsabilidad de la ejecución de un informe de impacto ambiental reside en la agencia federal que ha propuesto la acción. Sin embargo, se fomenta el que la agencia busque el apoyo de grupos ajenos a sí misma. Sólo hay dos excepciones a esta regla general. Cuando en el proyecto intervienen más de una agencia el Consejo de Calidad Ambiental emite las directrices para una cooperación interagencial. Así pues, un informe de impacto ambiental puede ser preparado por una agencia designada como directora y las otras agencias implicadas le suministran todo tipo de información y datos inherentes a sus campos específicos de acción. Este proceso puede ser compartido por todas las agencias implicadas trabajando en equipo sin que una de ellas lleve el peso global del informe.

La segunda exención ha surgido del poder judicial. Para algún tipo de acción, a algunas agencias se les concede el poder de delegar sus responsabilidades, en cuanto a la ejecución de las E.I.A., en empresas o agrupaciones no federales.

La fórmula de distribución de costos entre las agencias y los promotores o solicitantes es variable según las agencias. En muchas ocasiones paga el solicitante sin ninguna ayuda federal. Algunas agencias consideran que

el informe puede incluirse dentro del presupuesto total del proyecto y por lo tanto, financia un porcentaje del informe, a través de su participación en la financiación del proyecto.

### **DIRECTRICES Y REGLAMENTACION EMITIDAS POR EL CONSEJO DE CALIDAD AMBIENTAL EN MATERIA DE INFORMES DE IMPACTO AMBIENTAL EN EE.UU.**

Entre un amplio orden de actividades del gobierno federal, que requieren la ejecución de una E.I.A., se pueden destacar:

1. Propuestas legislativas.
2. Edificación federal directa (tanto obras civiles como militares).
3. Asistencia financiera a otros niveles gubernamentales (especialmente para el caso de proyectos de ubicación específica).
4. Edificaciones estatales, locales o privadas a través de hipotecas federales y mecanismos similares.
5. Proyectos que requieran licencia o permiso especial del gobierno federal (como por ejemplo, tratamientos de residuos sólidos, desecados de zonas pantanosas, etc).

Según las directrices emitidas por el Consejo en 1973, una evaluación de impacto ambiental, debe incluir:

- Una descripción técnica comprensible de la acción o proyecto propuesto.
- Un análisis del impacto probable sobre el ambiente a nivel general, incluyendo impactos sobre: los sistemas ecológicos; esquemas de ordenación del territorio y desarrollo; sistemas de organizaciones sociales y comunitarios.
- Descripción de cualquier probable efecto ambiental adverso que no pueda evitarse o que pueda ser reducido hasta un nivel aceptable.
- Análisis, estudios y descripciones de aquellas alternativas posibles y sus efectos ambientales.
- Consideración detallada de cualquier daño irreversible o irreparable en los recursos ambientales.

El Consejo de Calidad Ambiental (C.E.Q.), a instancias del Presidente de Estados Unidos emitió en noviembre de 1978 una nueva reglamentación o directrices para la ejecución de estudios de impacto ambiental.

La nueva Reglamentación para la ejecución de las E.I.A., las sitúa dentro del contexto global de la evaluación ambiental en todo el proceso administrativo. Así, las E.I.A., estarán presentes desde la concepción del proyecto, su desarrollo y planificación, hasta la decisión final y ejecución. Igualmente, esta nueva reglamentación reduce los trámites administrativos, acorta y facilita la duración del proceso de revisión para personas que intervengan en ella y público en general.

La nueva reglamentación establece:

- Revisiones ambientales conjuntas federales-estatales, lo que evita duplicidad de documentación.
- Número máximo de páginas para los dictámenes de impacto ambiental, lo que evita una dispersión de la información.

Algunas de las innovaciones de la nueva reglamentación incluyen el establecimiento de:

1. Proceso de determinación de la extensión del informe.
2. Formato standard para valorar los impactos ambientales.
3. Proceso de consulta previa a la decisión.
4. Documento de exposición de la decisión.
5. Un marco institucional global para la evaluación del impacto ambiental.

El proceso de determinación de la extensión de un informe da lugar a una reunión previa para que la agencia responsable consulte acerca de los puntos más importantes con otras agencias, con los solicitantes o promotores y con el público antes de la preparación de la evaluación ambiental.

El formato de un informe se ha simplificado y ha quedado reducido a tres secciones principales (CUADRO XI).

La reglamentación exige que la evaluación comience por un breve resumen del estudio que no tenga más de quince páginas de extensión y donde se expresen las conclusiones principales, las áreas de controversia y las cuestiones que se han de resolver. Este resumen va seguido de un pequeño informe del fin que se persigue con el proyecto y de su necesidad.

## CUADRO XI

## Formato simplificado de un informe de impacto ambiental

<u>Directrices</u>	<u>Reglamentación</u>
(1973)	(1978. Sustituye Directrices 1973)
Folio resumen	Portada
Relación de observadores	Indice del contenido
	Resumen
	Exposición de los fines de la acción
Descripción de la Acción Propuesta y exposición de los fines.	Análisis comparativo de alternativas incluyendo la acción propuesta.
Descripción del Medio Ambiente afectado.	Descripción del Medio Ambiente afectado.
Conexión entre la acción propuesta y los planes o leyes existentes sobre Ordenación del territorio y su conservación.	Descripción de los Impactos Ambientales
Impacto ambiental de la acción propuesta.	Consecuencias ambientales.
Alternativas de la acción propuesta.	
Impactos negativos inevitables.	
Conexión entre impactos a largo y corto plazo.	
Daños irreversibles o irreparables sobre los recursos.	
Indicaciones sobre otras consideraciones de la política federal previstas para compensar los impactos ambientales negativos.	Lista de técnicos que intervienen.
	Lista de colaboradores y apelantes.
	Indice

Las observaciones, comentarios, apelaciones y apéndices se adjuntan al Informe de Impacto Ambiental.

La sección principal de la E.I.A., debe presentar a continuación los impactos ambientales de las alternativas (incluyendo las opciones preferidas) en forma comparativa, definiendo así de forma ostensible las cuestio-

nes surgidas y ofreciendo una base clara para la elección de la decisión más adecuada.

Las secciones finales discuten las características y condiciones del ambiente afectado y las consecuencias ambientales de las alternativas incluyendo datos científicos y analíticos necesarios para la comparación a la que se hizo referencia antes.

Cada evaluación de impacto ambiental contiene una lista de las personas que han intervenido en su preparación, junto con su titulación y cualificación y un índice para facilitar su lectura y utilización.

El proceso de consulta preliminar o previa a la decisión ofrece a cada agencia federal la posibilidad de la ayuda del Consejo de Calidad Ambiental cuando no hay acuerdo entre dos o más agencias federales.

Cuando el responsable de una agencia federal opina que el proyecto de otra agencia no es satisfactorio desde el punto de vista ambiental, puede en un documento «ad hoc» exponer su opinión al Consejo. Tal documento incluirá sus razones en contra del proyecto, recomendaciones y posibles alternativas. El Consejo en un plazo máximo de 25 días debe responder al responsable de la agencia federal, bien contestando técnicamente a sus preguntas o sometiendo el asunto directamente al Presidente.

El documento de exposición de la decisión o dictamen debe ser un documento justificativo que identifique y valore el peso dado a cada factor sopesado por la agencia a la hora de tomar una decisión.

La Reglamentación establece una sola serie de normas de interpretación de NEPA unificando para todas las agencias la terminología y la normativa existente.

Ofrece una protección a las agencias ratificando y sancionando oficialmente sus sistemas evitando el temor de las agencias a una negativa o desaprobación judicial.

#### **ASPECTOS AMBIENTALES A CONSIDERAR EN LOS INFORMES DE IMPACTO AMBIENTAL EN LOS EE.UU.**

La Ley NEPA y las directrices del Consejo de Calidad Ambiental no definen exactamente el término «ambiente humano». La sección 101 de la NEPA indica el rango de aspectos ambientales que han de ser cubiertos, en cualquier evaluación, de un efecto significativo. En las directrices del

Consejo se ha definido este contenido, que ha de incluir como mínimo las siguientes áreas potenciales de impacto:

- Aire: calidad del aire, modificaciones climáticas.
- Agua: calidad del agua, contaminación marina, conservación de la pesca comercial y sanidad en los moluscos.
- Peces y vida silvestre.
- Residuos sólidos
- Ruidos.
- Radiaciones.
- Sustancias peligrosas: materiales tóxicos, aditivos alimentarios y contaminación de alimentos, pesticidas, manejo y transporte de materiales peligrosos.
- Suministros energéticos y de recursos naturales: consumos de energía eléctrica, generación, transmisión y aplicaciones; utilización del petróleo, producción, transmisión y aplicaciones, y del gas natural, producción, transmisión y aplicaciones; empleo de carbón y minerales, minería, transformación, procesado, transporte y aplicaciones. Conservación de energía y de los recursos naturales.
- Ordenación del territorio: variaciones en el uso del suelo, planificación y regulación del suelo.
- Protección de zonas ambientales sensibles o críticas: marismas, tierras pantanosas, playas y dunas, suelos inestables, pendientes fuertes, áreas de recarga de acuíferos.
- Ordenación del territorio en zonas costeras.
- Reordenación y construcción en zonas urbanas.
- Mitigación de la densidad y congestión.
- Tipología del vecindario.
- Impactos sobre poblaciones de baja renta per cápita.
- Protección histórica, arquitectónica y arqueológica.
- Conservación del suelo, de las plantas y la hidrología.
- Esparcimiento al aire libre.

El Consejo especifica que se deben cubrir tanto los efectos directos como los indirectos de cualquier acción o proyecto.

El Consejo está preparando un estudio especial de «Indicadores» de la calidad ambiental para que las agencias tengan una guía de los posibles tipos de impactos ambientales.

Una parte fundamental de la reglamentación citada anteriormente, es la información al público.

Dicha información debe comenzar desde el momento en que se gesta la acción federal. No se puede olvidar, que tanto los créditos como los fondos federales implicados en estos proyectos proceden del erario público. Además, hasta ahora no se controlaba la ejecución del proyecto, a fin de comprobar que las promesas hechas al público por una agencia en el sentido de corregir o evitar los impactos adversos, eran llevados a cabo.

La Reglamentación para la ejecución de la NEPA estipula que las agencias han de tener en cuenta las siguientes condiciones:

- a) Esforzarse en involucrar al público en la preparación y cumplimiento de los procedimientos incluidos en NEPA.
- b) Hacer asequibles al público todas las discusiones relacionadas con la NEPA; las asambleas públicas; y los documentos relacionados con el ambiente.
- c) Patrocinar audiencias públicas o asambleas cuando sea apropiado u obligado por los estatutos.
- d) Solicitar la información adecuada y necesaria del público.
- e) Explicar donde y cómo las personas interesadas pueden obtener información, informes del impacto ambiental y otros elementos relacionados con el proceso de la NEPA.
- f) Facilitar al público gratis, o como máximo al precio del valor de la copia, los informes de impacto, los comentarios recibidos y otros documentos relacionados con el tema.

#### PROCESO DE TRAMITACION DE UN INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL EN EE.UU.

El proceso puede clasificarse en cuatro estadios principales. En primer lugar una agencia federal ha de decidir la necesidad de la preparación de

una declaración (DIA) para una acción propuesta, lo que implica la previa realización de una evaluación de impacto ambiental. Para la realización de esta evaluación no existen directrices determinadas sino que cada agencia sigue sus propias normativas, basándose en la NEPA y en los reglamentos del Consejo (CUADROS XVII y XVIII).

Si la agencia, basándose en la evaluación previa, decide que no es necesario el informe del impacto ambiental, normalmente resume los resultados de la evaluación en lo que se conoce como un documento de «impacto significativo» o «declaración negativa».

En segundo lugar, suponiendo la necesidad de la realización de un informe de impacto ambiental, la agencia emite una «notificación de iniciación» y abre un proceso de determinación de la extensión y envergadura de un informe. En este proceso pueden intervenir todas las partes interesadas para determinar clara y escuetamente los puntos conflictivos y las alternativas posibles. Con esta información la agencia prepara el borrador del dictamen o informe de impacto ambiental.

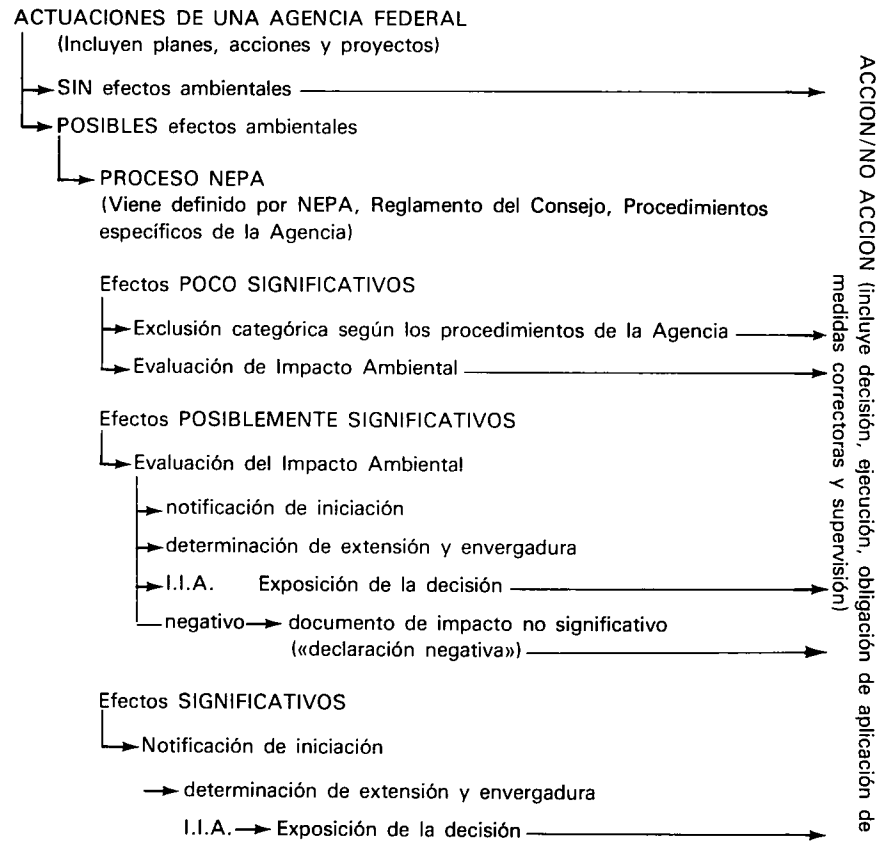
El tercer estadio incluye la puesta en circulación del borrador para someterlo a crítica y la subsiguiente preparación del informe final. Los borradores se mandan a todos aquellos grupos directamente implicados en la acción propuesta que incluyen: otras agencias federales (entre ellas la EPA), agencias estatales y locales, al Consejo de Calidad Ambiental, al público y a los grupos industriales privados. Se les concede a todos estos grupos un período de 45 a 60 días para que puedan emitir sus comentarios y observaciones. Al cabo de este período la agencia procede a la revisión del borrador incluyendo las respuestas a las observaciones recibidas.

Finalmente en el cuarto estadio, la agencia a la luz del análisis del informe de impacto ambiental final y de aquellos otros factores relativos al proceso resolutorio, llega a la toma de una decisión que debe emitirse en el plazo de treinta días después de la publicación del informe final.

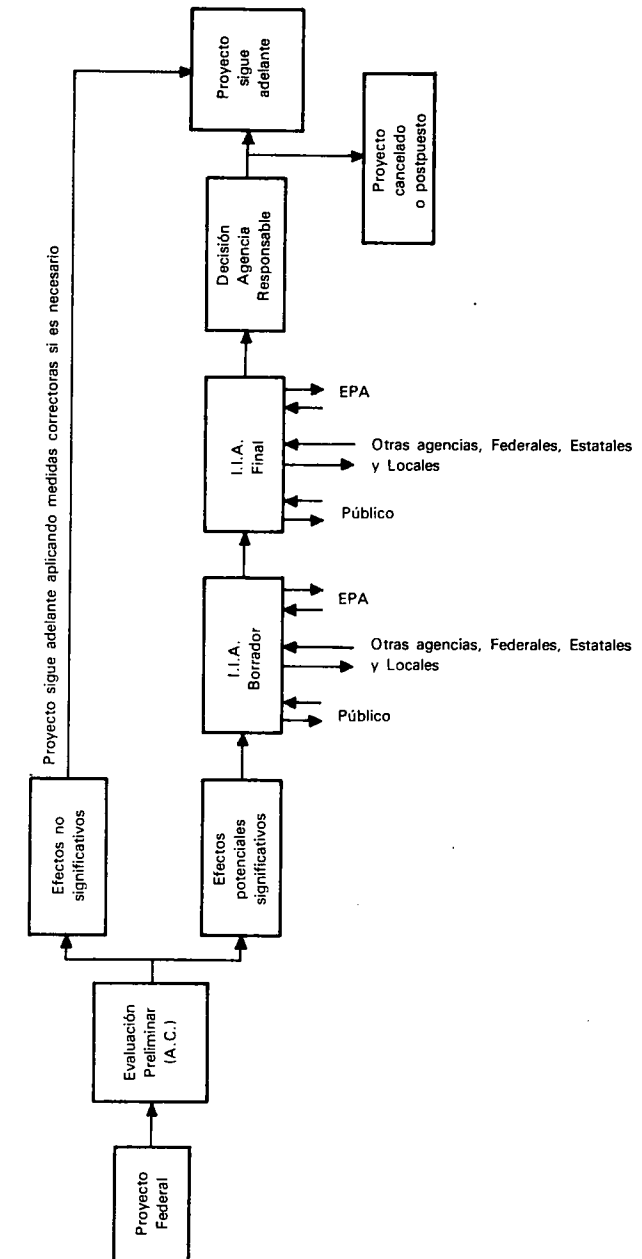
Este período de 30 días es aprovechado por cualquier agencia que encuentre inaceptable el proyecto desde el punto de vista del «bien común, la salud o la calidad ambiental», para someter su decisión al Consejo que revisará la propuesta e intentará resolver la discrepancia surgida entre las agencias.

CUADRO XVII

**Procedimiento establecido por los Reglamentos  
del Consejo de Calidad Ambiental (EE.UU.)**



CUADRO XVIII  
Tramitación de un informe de Impacto Ambiental (I.I.A.)



## CONTENIDO DE UN DIA EN EE.UU.

Son cuatro los pasos que se establecen para determinar el contenido de un Dictamen o Informe de Impacto Ambiental.

1. Determinar la envergadura real del proyecto propuesto.
2. Decidir la serie de parámetros ambientales que sean apropiados para el análisis del proyecto.
3. Determinar qué datos básicos del proyecto y su entorno son necesarios para investigar los impactos ambientales y/o qué tipo de análisis hay que efectuar para poder predecir los efectos sobre el medio.
4. Realizar un análisis crítico de las conclusiones obtenidas de las predicciones efectuadas en los pasos anteriores, evaluarlas y finalmente decidir qué alternativas al proyecto deben ser consideradas en función de sus efectos sobre el medio ambiente.

Una condición importante que debe cumplir este documento es la de ser lo suficientemente corto para que siendo completo, sea específico, comprensible y útil para el proceso resolutivo.

En cuanto al informe final sólo surgen problemas de trabajo intensivo si alguna de las observaciones muestra la existencia de efectos ambientales o alternativas posibles que no hayan sido tomadas en cuenta por la agencia durante la preparación del borrador.

## PAPEL DE LA EPA EN LA REVISION DE INFORMES DE IMPACTO

Basándose en la sección 309 del Clean Air Act Amendments de 1970, la EPA está obligada a revisar todas las acciones de las agencias federales. Esta sección legislativa es un complemento de la NEPA. La NEPA obliga a las agencias federales a la preparación de informes de impacto y la sección 309 obliga a la EPA a revisar estos informes. Ninguna otra agencia federal tiene una obligación legal de revisar los informes de impacto de sus proyectos. Los especialistas de la EPA están en contacto continuo con los especialistas de otras agencias encargadas de un informe desde antes de la ejecución del borrador para ir simultaneando la información con la revisión.

Cuando se ha terminado el borrador, EPA decide si el informe de impacto es adecuado, insuficiente o inadecuado. En los dos últimos casos la agencia encargada ha de decidir si revisa el borrador existente o hace un nuevo borrador. EPA también valora el proyecto y lo califica dentro de otras tres categorías:

- No encuentra ninguna objeción ambiental que hacer (LO)
- Manifiesta reservas en cuanto al impacto ambiental posible (ER).
- Manifiesta que el proyecto no es satisfactorio por los efectos nocivos sobre el medio ambiente (EU).

La EPA revisa asimismo todos aquellos informes de impacto finales que han sido valorados en la fase de borrador como insuficiente, inadecuado, ER ó EU. Si en esta revisión los problemas surgidos a nivel de borrador no han sido resueltos adecuadamente, la EPA se lo notifica a la agencia original y prepara un comentario formal sobre este informe final que es enviado al Consejo de Calidad Ambiental y hace pública su decisión como Administración.

En los Estados Unidos se han realizado hasta la fecha miles de estudios de impacto ambiental, tanto federales como estatales y locales y han demostrado ser enormemente positivos para la protección del ambiente, compatible con el desarrollo. Se ha visto también que permiten optimizar los recursos utilizados y las medidas correctivas precisas, disminuyendo en muchos casos los costos de protección en cantidades importantes.

Con independencia de las leyes de alcance federal, algunos estados de la Unión americana tienen sus propias leyes de política ambiental en las que también se exigen con carácter estatal las evaluaciones de impacto. En general, estas evaluaciones realizadas por exigencia estatal o local (no federal) se aplican a grandes obras públicas —autopistas, presas y embalses, canales, etc—, y a algunas grandes instalaciones industriales, por ejemplo, las energéticas (centrales térmicas nucleares y convencionales, refinerías, oleoductos y gasoductos, plantas de regasificación y terminales de gas natural licuado), los complejos siderúrgicos y químicos, las cementeras, las papeleras, etc.

En California, que es el estado más exigente del país en materia ambiental, y que pide evaluaciones de impacto para los proyectos y las acciones importantes que se realizan en su territorio, se producen muchos informes ambientales al año.

## CANADA

El proceso federal de evaluación y revisión ambiental «Environmental Assessment and Review Process» (EARP), fue establecido en Canadá por decisión del Gabinete Ministerial en 1973 y posteriormente enmendado en 1977.

Este proceso (EARP) se refiere solamente al papel federal en el tema de la evaluación del medio ambiente y consiste en una decisión firme por parte del gobierno federal de responsabilizarse de las consecuencias ambientales debidas a las actividades federales de los diversos departamentos. Asimismo incluye la incorporación de medidas de protección ambiental.

El proceso establecido en 1973 tiene por objeto la evaluación de planes, acciones o proyectos en los primeros estadios de la planificación para evitar decisiones o compromisos perjudiciales irrevocables.

El proceso de evaluación ambiental comprende tres estadios secuenciales de revisión a los que no tienen que ser sometidos obligatoriamente todos y cada uno de los proyectos.

Los dos primeros estadios comprenden la autoevaluación por parte de los departamentos promotores de sus propios proyectos. El tercer estadio consiste en la revisión más exhaustiva y formal de aquellos proyectos que tras la evaluación inicial aparecen como potencialmente significativos en cuanto a su impacto en el medio ambiente. Este tercer estadio es al que se someten aquellos proyectos que requieren la preparación de dictamen o informe de impacto ambiental.

La responsabilidad de las decisiones relativas a este proceso de evaluación recae en el Ministerio del Medio Ambiente que fue creado en 1970 a partir de una reorganización de los estamentos del gobierno federal.

Por orden gubernamental de 1979 (Government Organization Act) se especifica la función del Ministerio del Ambiente respecto a los procesos de evaluación. Por esta orden, el Ministerio está obligado a realizar o recomendar y coordinar la evaluación de proyectos, planes o acciones del

gobierno canadiense para asegurar así el control de la calidad ambiental.

Como se verá más adelante, al hacer referencia a la tramitación de las evaluaciones de impacto ambiental, la metodología canadiense considera la formación de unas Comisiones de expertos, específicas para cada proyecto.

La formación de estas Comisiones de expertos es responsabilidad de la oficina federal de revisión de evaluaciones ambientales «Federal Environmental Assessment Review Office» (FEARO).

Una vez formada la Comisión de expertos, ésta es independiente de la FEARO e informa directamente al Ministro del Ambiente a lo largo de su trabajo en la revisión del expediente del proyecto. La FEARO es asimismo la responsable de la emisión de unas directrices generales para los procesos de evaluación, y de ofrecer una asesoría administrativa a todas las agencias, así como al público respecto a la «operatividad» del proceso (EARP).

También es responsable de la evaluación de la implantación del proceso y de recomendar aquellas modificaciones encaminadas a mejorar la efectividad de las evaluaciones de impacto ambiental.

El presidente ejecutivo de la FEARO o su delegado es asimismo el presidente de cada Comisión de expertos y ha de nombrar un secretario ejecutivo para cada Comisión.

El proceso de evaluación y revisión ambiental (EARP) se aplica a todos los proyectos federales considerándose como tales, aquellos en que el promotor es un departamento federal, aquellos que aún siendo privados están subvencionados por algún departamento federal, y finalmente, aquellos en los que se involucra la propiedad federal.

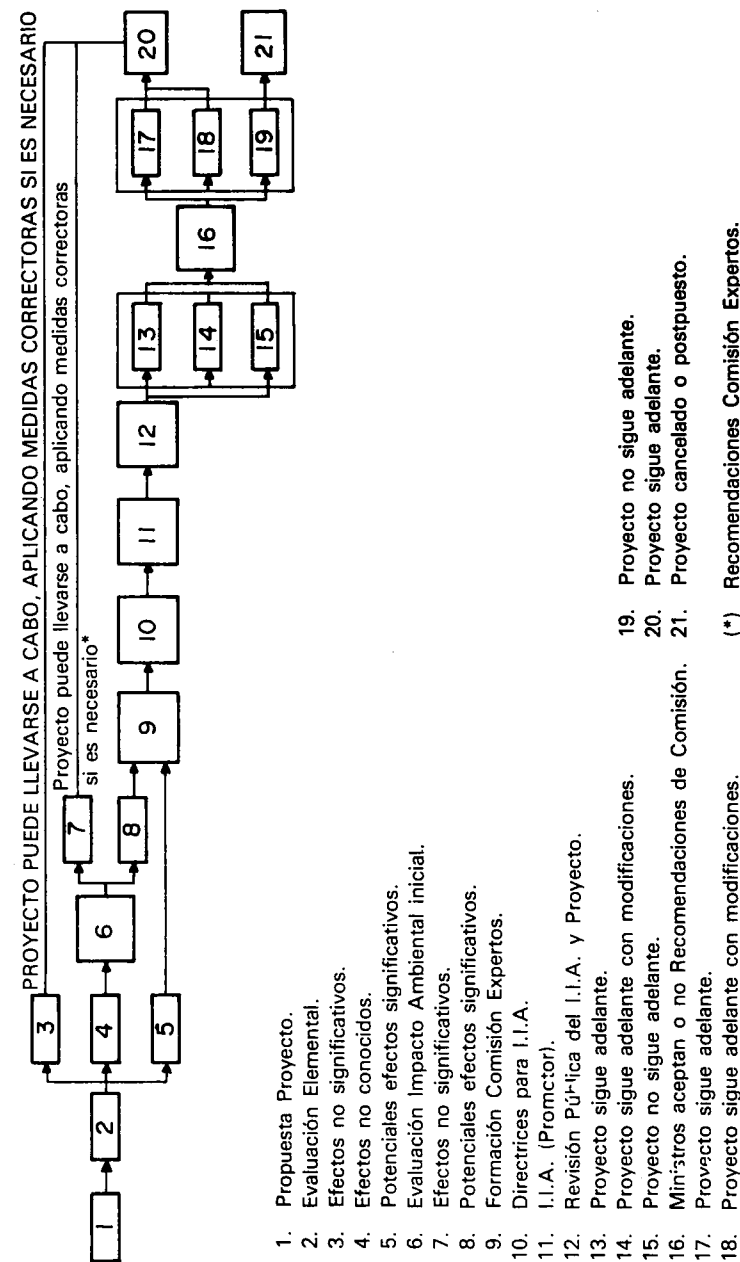
El proceso EARP está basado fundamentalmente en la autoevaluación, así pues, los departamentos o agencias federales promotores de un proyecto son los responsables tanto de la evaluación elemental inicial del proyecto, como de la localización de la importancia de los impactos ambientales derivados de dichos proyectos. Las agencias o departamentos federales promotores son asimismo los responsables de la implantación de las medidas correctoras de los impactos identificados.

En la fase de autoevaluación no solamente se han de tener en cuenta la información y datos de tipo técnico, sino la carga potencial del proyecto como sensibilizador de la opinión pública. Las agencias están obligadas a informar al público sobre el proyecto y a obtener sus opiniones.

Las agencias en los comienzos de la planificación someten sus proyectos a esta evaluación elemental (CUADRO XIX).

CUADRO XIX

Tramitación de un informe de Impacto Ambiental (I.I.A.) en Canadá



## EVALUACION ELEMENTAL

En los comienzos de la planificación las agencias someten sus proyectos a una evaluación elemental para identificar los efectos ambientales nocivos. Para esta evaluación elemental la FEARO, Oficina Federal del Ambiente y el Servicio de Protección del Ambiente han emitido conjuntamente una guía para la evaluación ambiental elemental (Guide for Environmental Screening).

Las directrices están diseñadas en forma matricial para facilitar la identificación e interrelación de los diversos factores ambientales respecto a las actividades derivadas del proyecto. Las matrices presentadas pueden ser modificadas y acopladas a las necesidades de un departamento específico. En este proceso de autoevaluación elemental existen dos niveles, un primer nivel global y un segundo más específico.

El primer nivel es el de una evaluación elemental global y amplia, para lo cual se ha confeccionado una matriz en la que se identifican aquellas actividades que tendrían lugar durante las tres fases principales del desarrollo de un proyecto. Estas actividades son:

1. Investigación de la ubicación y su preparación.
2. Construcción.
3. Puesta en marcha y mantenimiento (del proyecto ya completado).
4. Actividades futuras relacionadas con el proyecto (puesto que se consideran como derivadas directamente del proyecto).

En esta matriz primera también se identifican aquellas áreas en las que son probables las incidencias del impacto. Estas áreas son:

1. Físico-química.
2. Ecológica.
3. Estética.
4. Social.

En el segundo nivel se enfocan las áreas de impacto ambiental más específicas. En la matriz correspondiente a este segundo nivel se identifican y clasifican las actividades en cuatro categorías.

1. Actividades cuyo desarrollo no afecta al medio ambiente.

2. Actividades con efectos adversos no significativos que han de ser sometidas a medidas correctoras y de control.
3. Actividades con efectos no identificados o potencialmente adversos sobre el ambiente.
4. Actividades con efectos adversos graves sobre el ambiente.

En el caso de que los proyectos sean clasificados como carentes de efectos o con efectos no significativos controlables, el departamento competente es el responsable de la implantación de las medidas oportunas para evitar o reducir los efectos ambientales identificados. Asimismo se responsabiliza de que el desarrollo de dicho proyecto cumpla con las condiciones legales y administrativas exigidas por el Gabinete Ministerial.

Si como consecuencia de la evaluación elemental los efectos ambientales debidos a un proyecto aparecen como potencialmente significativos, o no se han podido identificar, el proyecto es sometido a un examen más detallado y completo conocido como una Evaluación Ambiental Inicial.

Si los efectos ambientales de un proyecto se consideran como potencialmente significativos, este proyecto pasa al Ministro del Ambiente para ser sometido a un proceso de informe de impacto ambiental según las normativas del EARP, sin pasar por la etapa previa de una Evaluación Ambiental Inicial.

## EVALUACION AMBIENTAL INICIAL

Una evaluación ambiental inicial en Canadá incluye una descripción del proyecto, la descripción del entorno y sus recursos sin el proyecto, un esquema de los posibles efectos e impactos ambientales y los detalles relacionados con las medidas previstas para evitar o disminuir dichos efectos. Esta evaluación incluye el estudio de otras posibles alternativas al proyecto, identificando aquella alternativa que se considera como más oportuna.

Una vez completada esta evaluación inicial el departamento competente la revisa y reclasifica el proyecto. Si a la luz de la evaluación los efectos derivados del proyecto se consideran como no significativos, se toman las medidas correctivas y de control apropiadas de las que se responsabiliza dicho departamento. En el caso de que los efectos ambientales del proyecto sean potencialmente significativos, éste pasa al Ministro del Ambiente para someterlo a un informe de impacto ambiental siguiendo las normas del EARP.

### EXAMEN DE PROYECTOS CON IMPACTOS POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVOS. INFORME DE IMPACTO AMBIENTAL EN CANADA

Cuando, como consecuencia de los resultados obtenidos en una evaluación elemental o en una evaluación ambiental inicial, el impacto potencial de un proyecto sobre el ambiente es considerado como significativo, el departamento promotor remite dicho proyecto al Ministro del Ambiente, quien delega la formación de la Comisión de expertos específicos, en la FEARO.

Al ser remitido el proyecto al Ministro del Ambiente, se pone en marcha el proceso de examen independiente por parte de la Comisión de expertos de los impactos del proyecto a nivel no solamente técnico, sino del ambiente y de los efectos sociales derivados.

Como se expresa anteriormente, se crea por parte de FEARO una Comisión de expertos diferente para cada proyecto sometido a examen.

El presidente de la Comisión es el presidente de la FEARO o su delegado, siendo este presidente el interlocutor válido de la Comisión ante el Ministro del Ambiente.

Las Comisiones están formadas generalmente por ocho miembros seleccionados por sus conocimientos y experiencia en los campos técnicos ambientales y sociales en los que se preve surjan impactos significativos debidos al proyecto sometido a examen.

La FEARO puede designar como miembros de la Comisión a funcionarios gubernamentales y por su parte el Ministro del Ambiente de acuerdo con el Ministro del departamento promotor puede designar como miembros de la Comisión a personas ajenas al servicio público. La agencia promotora puede también designar un representante en dicha Comisión.

La Comisión de expertos tiene como primera función la de emitir las directrices específicas para la ejecución de una EIA para asegurar que contenga aquella información específica requerida para una revisión clara por parte de la Comisión y del público.

El departamento promotor puede añadir el tipo de información que considere importante aunque no se lo exijan las directrices. Por el contrario, si el promotor omite algún factor o información exigido en las directrices ha de exponer las razones por las que lo hace.

Durante el proceso de preparación de las directrices se consulta al público interesado que por escrito remitirá sus sugerencias que a su vez, serán incluidas junto con las directrices cuando éstas se remiten al departamento promotor.

La EIA la prepara el departamento promotor o una empresa independiente. La EIA contiene la siguiente información con respecto al proyecto:

- Su ubicación.
- Su justificación.
- Alternativas viables.
- Situación ambiental existente en el entorno y recursos naturales.
- Factores sociales.
- Descripción detallada de los efectos potenciales sobre el medio ambiente, identificando las medidas que el solicitante va a tomar para evitar estos efectos.
- Identificación de aquellos impactos que van a existir después de aplicar dichas medidas correctivas.

Una vez preparada la EIA ésta se remite a la Comisión de expertos que procede a su examen.

Para determinar si la EIA está correcta en cuanto a su contenido y extensión, la Comisión de expertos recurre de nuevo al público y a aquellas agencias o departamentos interesados que le comunican sus observaciones por escrito.

La Comisión puede preparar una lista de deficiencias y aclaraciones del informe que remitiría al promotor haciéndola pública. El promotor completará el informe examinándose éste de nuevo y sometiéndolo a asamblea pública.

Una vez aceptado el informe y a la luz de las observaciones y comentarios recibidos, la Comisión examina todos los documentos recopilados y emite sus recomendaciones respecto al proyecto al Ministro del Ambiente, por medio de un documento llamado «Informe de la Comisión de expertos en medio ambiente».

La Comisión puede recomendar tres alternativas:

- Que el proyecto no se lleve a cabo.
- Que el proyecto se lleve a cabo con ciertas modificaciones o ajustándose a ciertas condiciones.
- Que el proyecto se lleve a cabo según lo previsto.

La Comisión puede incluir en sus recomendaciones, la vigilancia y su-

pervisión durante la construcción y funcionamiento del proyecto para contrastar los impactos producidos con los previstos en el informe.

La decisión final recae sobre el Ministerio del Ambiente y el Ministro del departamento promotor.

Si existe un desacuerdo entre los dos Ministros se remitirá el problema al Gabinete Ministerial.

### PARTICIPACION PUBLICA EN CANADA

El EARP está basado en un acuerdo firme por parte de los Ministerios Federales y por lo tanto no es un instrumento legal y el público no tiene la opción de recurrir ante los tribunales.

Por esta razón el gobierno canadiense ha incluido un sistema de participación pública muy elaborado para dar la opción al público de intervenir en el proceso, en todas las fases.

El público entra a formar parte del proceso desde las primeras fases del proyecto/acción, en la fase de autoevaluación (CUADRO XX).

Sin embargo, en la parte del proceso en donde la participación del público es fundamental, es en el caso de proyectos/acciones sometidos a examen con formación de una Comisión de expertos.

La importancia de la participación del público en la determinación de la significatividad de los impactos debidos a un proyecto/acción, es un hecho.

Una vez formada la Comisión de expertos su primer objetivo es la emisión de las directrices específicas para la elaboración de una EIA. La participación del público en la elaboración de las directrices se encauza por medio de comentarios escritos, orales o convocando asambleas públicas.

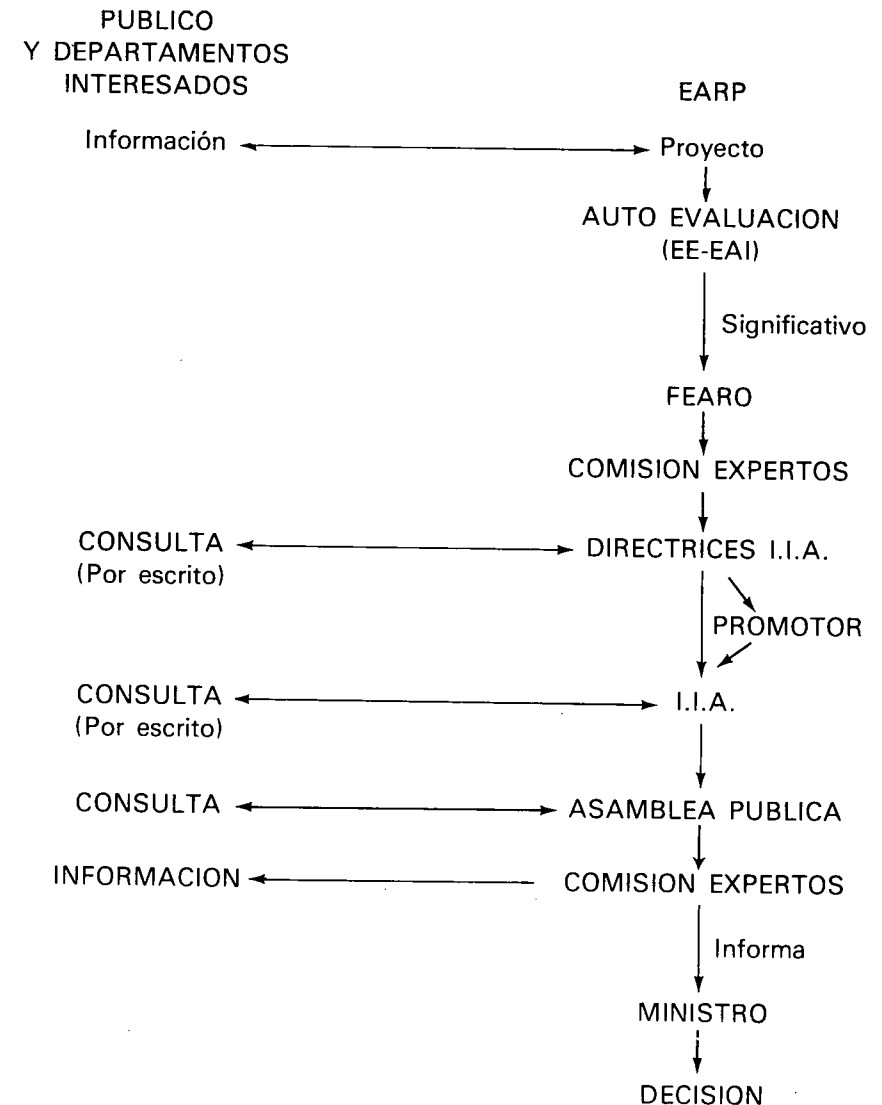
Una vez elaboradas las directrices éstas son hechas públicas al tiempo que se remiten al promotor.

Cuando se ha elaborado la EIA y tras un período hábil para su examen por parte del gobierno y del público, la Comisión de expertos mantiene una asamblea pública para recibir y considerar las opiniones y comentarios relativos al informe y al proyecto. Estas asambleas se mantienen en la zona afectada por el proyecto.

En los comienzos del proceso de examen el personal al servicio de la Comisión elabora un programa de información para asegurar que el público tiene la posibilidad de examinar y opinar sobre el proyecto. Antes de mantener la asamblea pública se llevan a cabo las siguientes actuaciones:

### CUADRO XX

#### Participación del público en el proceso EARP (Canadá)



- Se distribuyen las observaciones recibidas por escrito por parte de las organizaciones interesadas y de las agencias gubernamentales implicadas.
- Se emiten periódicamente anuncios en los medios de comunicación para mantener al público informado de la marcha del proceso y finalmente del lugar y la hora donde se mantendrán las asambleas.

Las asambleas públicas se pueden mantener en varias ocasiones a lo largo del proceso.

- Antes de la emisión de las directrices.
- Antes de la aprobación del informe.
- Antes de que la Comisión emita sus recomendaciones.
- Para comentar el proyecto.

La información al público no se limita a la Comisión de expertos sino que se estimula la información al público por parte del promotor para proporcionar una visión más objetiva del proyecto y sus derivaciones.

Las asambleas públicas no son procedimientos legales, por lo que las normas a seguir no se ajustan a las legales aunque la Comisión dicta las normas de procedimiento de cada asamblea. Las asambleas están estructuradas de forma que se ofrezcan las máximas oportunidades, tanto a las personas individuales como a los grupos, para la expresión de sus opiniones y para facilitar aquella información que consideren pertinente respecto a los impactos potenciales del proyecto.

En las asambleas, la Comisión de expertos recibe información por parte de técnicos interesados en el tema y de individuos particulares no técnicos.

Cuando la Comisión de expertos emite su informe subrayando sus recomendaciones sobre el proyecto, este informe no solamente es entregado al Ministro del Ambiente sino al público en general.

La ausencia de buenos programas de divulgación y participación pública han derivado en una suspicacia por parte del público, como consecuencia de la falta de conocimiento de la naturaleza y fines del proyecto, lo que ha dado lugar a diversos malentendidos.

Para la Comisión de expertos la participación del público ha supuesto una ayuda inestimable en la identificación de impactos, sobre todo los socio-económicos.

Igual que en los EE.UU., en Canadá algunos estados han regulado también los estudios de impacto ambiental.

Uno de los estados pertenecientes al Canadá que tienen una legislación específica sobre las evaluaciones de impacto ambiental, es Quebec.

Mediante la Ley de Calidad del Ambiente de 1972, el Gobierno de Quebec instauró un régimen general de protección del medio ambiente.

Los mecanismos de salvaguarda del medio ambiente previstos por la ley permiten, tanto el corregir situaciones preocupantes desde el punto de vista medio ambiental, como prevenir los daños al medio natural.

Entre las medidas de prevención, resalta el sistema de autorización previa que hace necesario a los promotores el obtener un «certificado de autorización» si su actividad es susceptible de emitir contaminantes al medio.

Según las disposiciones del artículo 22 de la ley, la petición de autorización debe incluir los planes del proyecto, indicar su localización y contener una evaluación detallada de la cantidad y concentración previstas de los contaminantes emitidos al medio. Según la ley de 1972, los estudios de impacto pueden ser también exigidos como condición previa a la autorización.

El reglamento de aplicación de la ley de 1975, precisa los tipos de proyectos que deben ser sometidos a estudios de impacto.

El Gobierno de Quebec, consciente de la importancia de las medidas de prevención para luchar contra el deterioro ambiental, ha modificado en 1978 la Ley de Calidad del Ambiente, para incluir disposiciones tendentes a reforzar las medidas de prevención e involucrar a los ciudadanos en el control y protección del medio ambiente.

Dos secciones han sido asimismo creadas por la ley, una sobre la evaluación y examen de impacto ambiental de ciertos proyectos y la otra instituyendo una oficina de audiencias públicas sobre el medio ambiente.

## MEXICO

En México la Ley Federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental de 1971 preveía ya en su artículo 28 la realización de estudios que evitaran la contaminación, erosión, degradación o destrucción de los suelos y la Ley Federal de Protección al Ambiente de 1982, en su artículo 7.º, se refiere expresamente a las manifestaciones de impacto ambiental, como instrumento básico de la política ambiental preventiva, por aplicación de medidas técnicas preventivas y correctivas para minimizar los daños ambientales durante la ejecución o funcionamiento de las obras públicas o de particulares.

En México se ha prestado gran atención a las EIA como instrumentos de primera línea para la gestión ambiental.

En efecto, la necesidad de llevar a cabo unos estudios que evaluaran los impactos ambientales y se aplicaran medidas técnicas preventivas y correctivas para minimizar los daños ambientales durante la ejecución o funcionamiento de los proyectos de obras públicas o de particulares que pueden producir contaminación o deterioro ambiental, es una antigua inquietud de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, a través de la Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente y de la Subsecretaría de Ecología.

En México se distingue según se trate de evaluar el impacto ambiental de las acciones ya realizadas (por ejemplo, el estudio de la contaminación de una planta en operación y su control), en cuyo caso se denomina DIAGNOSTICO AMBIENTAL o cuando se pretende evaluar determinadas acciones en fase de proyecto. En este último caso, la E.I.A., se denomina MANIFESTACION DE IMPACTO AMBIENTAL (M.I.A.).

Una Comisión de expertos, intersecretarial, preparó un borrador de directrices para la regulación de los estudios de impacto ambiental en México.

Se consideró que la Manifestación de Impacto Ambiental (M.I.A.) debe desarrollar los siguientes capítulos:

- CAPITULO I:** En este capítulo se debe establecer la descripción general del proyecto dividido en fases y éstas a la vez en etapas, con el fin de lograr el conocimiento general de las acciones a realizar y los requerimientos de materiales, así como de las técnicas de control de la contaminación.
- CAPITULO II:** Debe contener la descripción de la zona de ubicación del proyecto, haciendo el estudio de las condiciones existentes y de las características particulares de los factores y elementos del ambiente.
- CAPITULO III:** Se identificarán, describirán y evaluarán los impactos de las acciones propuestas por medio de la selección metodológica, que el manifestante considere más adecuada al proyecto.
- CAPITULO IV:** Debe contener la descripción de los impactos que por la naturaleza del proyecto no pueden ser evitados.
- CAPITULO V:** Se requiere la presentación de alternativas que permitan evitar o aminorar los impactos que se desprendan del proyecto propuesto.
- CAPITULO VI:** Comprende la descripción de tecnologías tendentes a minimizar los impactos al ambiente.
- CAPITULO VII:** Se describirán los impactos adversos que sufrirá el ambiente después de aplicadas las medidas de atenuación y que por limitaciones tecnológicas no pueda ser eliminado en su totalidad.

## BRASIL

En Brasil se impuso la necesidad de efectuar las evaluaciones de impacto ambiental y el estudio de alternativas a través de la Ley Federal 6.803 de 2 de julio de 1980, cuyo artículo 10, punto 3 hace referencia a las mismas.

La Ley citada obliga a realizar las E.I.A., como condición previa para aprobar o desaprobar las zonas de uso industrial destinadas a la localización de polos petroquímicos, carboquímicos, cloroquímicos e instalaciones nucleares.

La Ley Federal sobre Política Nacional de Medio Ambiente, Ley 6.938/81, hace referencia también a la potestad de la Unión (Administración Central) para imponer la necesidad de efectuar las evaluaciones de impacto ambiental al autorizar la instalación de plantas industriales en zonas con problemas de contaminación.

En esta Ley Federal sobre Política Nacional de Medio Ambiente se crea el Consejo Nacional de Medio Ambiente —CONAMA—, que tiene competencia para determinar, cuando lo juzgue necesario, la ejecución de evaluaciones de impacto ambiental de proyectos públicos o privados, recabando la información y estudios necesarios de los órganos federales, de los estados o municipios y de entidades privadas.

El Consejo Nacional de Medio Ambiente —CONAMA—, es un órgano superior que tiene la función de asistir al Presidente de la República en la formulación de las directrices de la Política Nacional de Medio Ambiente.

El órgano administrativo central es la Secretaría Especial del Medio Ambiente —SEMA—, que está encuadrada en el Ministerio del Interior y que promueve, desarrolla e implanta la política ambiental nacional brasileña.

La Secretaría Especial para el Ambiente —SEMA— regula también a

las empresas o agencias bajo control federal. Además de establecer los estándares de calidad, SEMA coopera con otras agencias federales sobre los impactos potenciales de proyectos importantes en cada caso particular. Cuando se considera necesario, las Evaluaciones de Impacto Ambiental se llevan a cabo a través de un acuerdo formal entre SEMA y la agencia responsable del proyecto. Este sistema ha demostrado durante los últimos años su factibilidad política aún a costa de una cierta incoherencia de criterios debida a la falta de normas detalladas establecidas para la exigencia de la E.I.A.

La obligatoriedad de efectuar evaluaciones de impacto ambiental de determinados proyectos y programas en Brasil pueden dimanar de una Ley, como la Ley Federal 6.803/80 o de la Ley 6.938/81 de Política Nacional de Medio Ambiente o de un decreto u ordenanza, es decir que puede ser de ámbito federal, estatal o municipal.

El Estado de Minas Gerais, en su Ley 7.772 de 8 de septiembre de 1980, confiere a la Comisión de Política Ambiental —COPAM— competencia para aprobar relatorios o informes sobre impactos ambientales (artículo 5.º, IV) y en el Reglamento que desarrolla esta Ley (Decreto 21.228 de 10 de marzo de 1981) establece la necesidad de llevar a cabo un examen de impacto ambiental para la instalación, construcción, ampliación o funcionamiento de actividades potencialmente contaminadoras.

Lo mismo sucede en otros estados brasileños, como Maranhao, Guanabara, Rio de Janeiro o municipios, como el de Piracicaba.

Para apoyar las actividades de SEMA la actual legislación requiere, a nivel nacional, que todas las agencias de financiación y bancos oficiales obtengan algún tipo de informe sobre el impacto ambiental para aquellos proyectos dignos de financiación oficial. Estos informes que algunas veces son hechos por el mismo SEMA y otros por las agencias del estado con su ratificación, han conducido frecuentemente a algún tipo de Evaluación de Impacto Ambiental.

A este respecto las Agencias Internacionales para el Desarrollo, como el Banco Internacional para la Reconstrucción y Desarrollo (BIRD) y el Banco Internacional para el Desarrollo (BID) han jugado un importante papel. En efecto, al ser los primeros en exigir algún tipo de Evaluación del Impacto Ambiental han establecido y definido un estándar de procedimiento, que es ahora seguido por las agencias nacionales.

Desde el punto de vista de las regulaciones relativas al Ambiente, todas las actividades económicas que afecten significativamente al mismo estarán obligadas a realizar una evaluación de impacto ambiental. Sin embargo consideraciones prácticas han prevalecido y solamente los proyectos muy

importantes han sido sometidos a las evaluaciones de impacto ambiental.

Hasta la fecha los principales grupos de actividades en Brasil que han sido sometidas a esta evaluación son:

- Proyectos hidroeléctricos.
- Plantas nucleares e industrias afines.
- Industrias importantes.

Durante la última década todos los proyectos hidroeléctricos desarrollados por el Gobierno brasileño, han realizado su evaluación de impacto ambiental de acuerdo con las normas del Banco Mundial. Estas pautas han sido adecuadas a las necesidades del Brasil e incorporadas dentro de la legislación que regula los usos de las aguas naturales. Algunos de los mejores trabajos de evaluación de impacto ambiental han sido realizados para estos proyectos. En los proyectos energéticos han sido introducidas también consideraciones sociales y como consecuencia la utilización de la E.I.A., es más avanzada en el sector de la energía.

Las industrias en general, son evaluadas de acuerdo con diferentes puntos de vista dependientes de los criterios adoptados por los gobiernos de los estados en que ha de desarrollarse el proyecto.

Normalmente las evaluaciones ambientales en el campo industrial están centradas solamente en el agua y en la contaminación del aire, siguiendo las normas que existen en algunas leyes federales y estatales.

## ARGENTINA

En Argentina se ha elaborado el proyecto de Ley Básica del Ordenamiento Ambiental Nacional, que en su artículo 7.º señala lo siguiente:

**Artículo 7.º.**—«Los organismos de la Administración Pública Nacional, al proyectar cualquier obra, acción o medida capaz de incidir directa o indirectamente en el ambiente, deberán considerar su factibilidad ambiental, efectuando un estudio que incluya:

- a) El desarrollo, descripción y evaluación de las distintas alternativas y de sus efectos ambientales, así como de las relaciones entre éstos y los costos económicos y sociales de aquellas.
- b) La descripción y evaluación de la alternativa elegida.
- c) Con respecto a la alternativa mencionada en el inciso b), la debida fundamentación de toda consecuencia adversa al ambiente, así como las acciones previstas para reducirlas al mínimo posible.

El Ministerio de Salud Pública y Acción Social, a través de la Subsecretaría de Medio Ambiente, podrá en la forma y oportunidad que prevea la reglamentación, exigir el informe correspondiente para su evaluación y aprobación como condición previa a la realización de la obra, acción o medida. A los fines de dicha evaluación, el Ministerio de Salud Pública y Acción Social solicitará el dictamen de los distintos organismos del Poder Ejecutivo Nacional competentes en las materias de que se trate.

Si el Ministerio de Salud Pública y Acción Social, dictaminare desfavorablemente respecto a la ejecución de la obra, acción o medida, o reco-

mendare modificaciones no consideradas aceptables por el organismo de origen del proyecto, éste podrá requerir que la decisión se someta a consideración del Poder Ejecutivo Nacional, quien resolverá previo dictamen de la Comisión Interministerial del Ambiente.

**Artículo 8.º**— Los mismos requisitos, obligaciones y procedimientos establecidos en el artículo anterior, serán aplicables a los proyectos de obras, acciones o medidas originados en los gobiernos provinciales y municipales, toda vez que los organismos del Poder Ejecutivo Nacional deban resolver sobre la prestación de apoyo técnico, económico o financiero, total o parcial, para la ejecución de las mismas.

Esta Ley no está todavía promulgada pero se indica como orientación de las tendencias de la política ambiental argentina en este campo.

Por otra parte, en Argentina se han venido haciendo trabajos importantes de evaluación de impacto ambiental, unidos al ordenamiento ambiental, desde 1975, relacionados sobre todo con grandes proyectos hidroeléctricos, como son los correspondientes a los embalses, presas y centrales hidroeléctricas de Salto Grande, Yaciretá, el Complejo ferroviario de Zárate-Brazo Largo y otros.

La experiencia argentina en este campo es muy interesante porque ha ido unida a un esfuerzo notable en trabajos de ordenación del territorio. Merece la pena destacar el Proyecto de Salto Grande. Se trata de una central hidroeléctrica, ya en operación, sobre el río Uruguay, frontera entre Argentina y Uruguay. Es una obra conjunta de ambos países. La presa tiene una altura de 69 metros sobre cimientos y 39 metros sobre el nivel del río. La Central tiene 14 turbinas y una potencia total de 1.890 MW. El embalse tiene una longitud de 200 metros de largo y cubre 78.300 hectáreas. Es una presa y embalse de aprovechamiento múltiple.

Lo más destacado de este proyecto, desde el punto de vista ambiental, fueron los estudios realizados desde 1976 para formular propuestas concretas de actuación en lo referente a usos del espacio, en el lago y perilago de Salto Grande, con los siguientes objetivos:

- a) Análisis preliminar de la situación, diagnóstico y evaluación.
- b) Propuesta de desarrollo ambiental y pautas para el ordenamiento del espacio.
- c) Normas generales y particulares para usos del espacio en el lago y perilago de Salto Grande.

- d) Anteproyecto de usos del espacio en el perilago de Salto Grande, margen Argentina.
- e) Propuesta de un modelo sistemático para la generación de alternativas de uso del espacio. Este modelo pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Disponer de un mecanismo para formular alternativas de usos del espacio, a partir de los componentes del medio.
- Predicción del límite de transformaciones ambientales admisibles derivadas de cada propuesta de uso.
- Diseño de un programa que permita a los niveles ejecutivos del área identificar la oferta potencial de recursos.
- Implementar un sistema permanente de información que permita el manejo de la misma, con cierto grado de precisión espacial.

Jurídicamente, estos trabajos se regularon en la Ley n.º 6.416 del Gobierno de la provincia de Entre Ríos, en la que está ubicada la presa de Salto Grande, (Boletín Oficial n.º 17.013 de 14 de noviembre de 1979) y su decreto de aplicación n.º 4092/79 (Boletín Oficial n.º 17.026, de 3 de diciembre de 1979), que regula el «uso del espacio y preservación del medio ambiente en la región de Salto Grande».

También se evalúan los proyectos de nuevas industrias y ampliación de las existentes, con base en lo dispuesto en la Ley 21.068 y sus decretos reglamentarios, referidos al Sistema de Promoción Industrial, en colaboración con las Secretarías de Estado de Desarrollo Industrial, de Hacienda y el Banco Nacional de Desarrollo.

Se pretende que las industrias presenten previamente una declaración o informe de impacto ambiental y se consideran las medidas correctoras oportunas para minimizar su incidencia ambiental.

## COMUNIDAD ECONOMICA EUROPEA

### LAS E.I.A. EN LA COMUNIDAD ECONOMICA EUROPEA

En la Comunidad Económica Europea, su programa de acción ambiental consideró ya en 1973, que las E.I.A., (Evaluaciones de Impacto Ambiental) eran un instrumento importantísimo para llevar a cabo una política de prevención de los deterioros ambientales. A este respecto, dicho programa señalaba que «es preciso tener en cuenta, lo más pronto posible, la incidencia sobre el medio ambiente de todos los procesos técnicos de planificación y de decisión», así como la necesidad de «evaluar las consecuencias sobre la calidad de vida y sobre el medio natural de toda medida susceptible de afectarlos, tomada o prevista a nivel nacional o comunitario».

Posteriormente, el segundo programa de acción ambiental (1977 - 1981) de la CEE, reconoció explícitamente que «la aplicación, en los niveles administrativos apropiados, de procedimientos para la evaluación de las incidencias sobre el medio ambiente responde a la necesidad de poner en marcha los objetivos y principios de una política ambiental en la Comunidad».

La acción de la CEE en este terreno se inscribe en una evolución en curso en los diferentes estados miembros para introducir progresivamente estos estudios y actuaciones, si bien en cada país, se han adoptado con diferente extensión y mediante procedimientos administrativos distintos.

Las evaluaciones de impacto ambiental tienen que realizar una importante función en el contexto de la adaptación institucional, para aportar una solución a los conflictos sociales que se vuelve cada día más necesaria. Conflictos que se manifiestan con ocasión de la construcción de grandes obras públicas y privadas (complejos industriales, aeropuertos, autopistas, centrales eléctricas, desarrollos urbanos, etc.). Una mayor transparencia de la acción administrativa y el diálogo más sistemático que pueden apor-

tar las E.I.A., gracias a su carácter público, podrían asegurar un mejor consenso social en la acción de los poderes públicos.

En junio de 1980 la CEE presentó al Consejo de las Comunidades Europeas una propuesta de directiva regulando la evaluación de la incidencia ambiental de determinadas obras y proyectos públicos y privados. Este texto que se adoptó, pretendía introducir en las legislaciones y prácticas administrativas de los estados miembros del Mercado Común Europeo, principios y criterios comunes para la evaluación del impacto ambiental de las actividades más importantes.

En mayo de 1982 la CEE presentó una propuesta de modificaciones a la directiva mencionada en el párrafo anterior, con un contenido bastante más exigente.

#### **RAZONES PARA LA IMPLANTACION DE LAS E.I.A., POR LA COMUNIDAD ECONOMICA EUROPEA**

Las E.I.A., presentan interés desde varios puntos de vista:

- Como instrumento de prevención, ya que las E.I.A., permiten evitar las graves e irreversibles degradaciones del medio ambiente.
- Presentan igualmente un verdadero interés desde el punto de vista económico, ya que en la medida en que la evaluación previa permite prever las mejores soluciones posibles para las obras previstas, contribuye eficazmente a evitar a los operadores el soportar los costos de medidas de protección que posteriormente podrían ser indispensables y a la colectividad el costo social de decisiones erróneas que pueden conducir a daños irreversibles. Desde esta óptica el costo de las evaluaciones previas parece totalmente justificado.
- Por otra parte, la experiencia en ciertos países lo ha demostrado, la obligación sistemática de evaluar previamente el posible impacto sobre el medio ambiente de las actividades consideradas y la búsqueda de soluciones alternativas aceptables, constituyen una incitación constante a mejorar los métodos e instrumentos de previsión y evaluación. Esto se traduce en una mejor interpretación de los criterios y datos relativos al medio ambiente en los procesos de planificación y contribuye a efectuar una buena gestión del uso de los recursos naturales.

- Asimismo la acción de las Comunidades está motivada por la necesidad de asegurar que la aplicación de las E.I.A., tenga condiciones similares en los distintos estados miembros.

Dos tipos de motivos son, pues, la base de la acción de la CEE en este campo: la necesidad de una política preventiva para la protección del medio ambiente y un funcionamiento correcto del mercado común.

Han sido realizados numerosos estudios para poder identificar los elementos principales que deberían caracterizar el proceso de E.I.A., en la Comunidad y actualmente se están elaborando los principios comunes a los que deberán ajustarse los procedimientos. Estos principios, cuya armonización parece necesaria, podrían concernir a los siguientes elementos esenciales de las evaluaciones de impacto: su campo de aplicación, el contenido y ciertos procedimientos.

Dada la diversidad y variedad de sistemas administrativos, a los cuales deberán ser aplicados estos principios comunes, es evidente que su formulación deberá asegurar, por una parte, una aplicación real de los principios de prevención y por otra, tener una suficiente flexibilidad para su utilización.

Las actividades susceptibles de tener impactos importantes sobre el medio ambiente son muchas y responden a diferentes niveles de acción administrativa. Entre ellas, las más significativas son:

- a) Las obras individuales, públicas o privadas, que están corrientemente sometidas a la autorización por parte de los poderes públicos. Por ejemplo: complejos industriales, residenciales, comerciales, infraestructura, cuyos impactos se producen generalmente en una zona localizada.
- b) Planes y programas de ordenación del territorio.
- c) Planes económicos, a menudo ligados a los planes de ordenación del territorio y orientando su desarrollo a determinados sectores o actividad.
- d) Las nuevas tecnologías y los nuevos productos, cuyos impactos cada vez más complejos sobre el medio ambiente, reclaman medidas de evaluación preventivas.
- e) Los actos legislativos o administrativos, en la medida en que reglamentan las actividades susceptibles de producir un impacto sobre el medio ambiente.

Es evidente que un sistema de E.I.A., será más eficaz si se integra de manera coherente y sistemática en los procedimientos administrativos. Obviamente, esta evaluación será diferente según el tipo de acción que se acometa.

Las acciones que necesiten un nivel de decisión superior (planes de ordenación del territorio o económicos, ciertas leyes), estarán sometidas a una E.I.A., con carácter prioritario porque ellas determinan en gran medida las acciones de menor transcendencia ambiental (por ejemplo: obras individuales). De esta forma, aparece un lazo de unión particularmente importante entre los grandes planes de ordenación del territorio o económicos y las obras individuales, sobre todo en los estados que tienen larga experiencia en planificación.

Se estima que la introducción de las E.I.A., en todos los niveles administrativos, implicaría profundas transformaciones en los sistemas actuales e impondría una sobrecarga a la Administración en su funcionamiento actual.

Tanto las actividades de planificación como las distintas obras a realizar, tienen sistemas administrativos de autorización en los diferentes estados miembros. Es en estos sistemas y procedimientos en los que sería necesaria la introducción de las E.I.A., integrándolas como parte del procedimiento general, de aprobación, es decir, en el proceso de decisión.

Por ello, y teniendo en cuenta los problemas que se presentarían, se recomienda la necesidad de introducir las E.I.A., de una forma progresiva en los diferentes niveles administrativos.

La delimitación de las obras que deben someterse a una E.I.A., es otro problema, íntimamente relacionado con la acción administrativa.

En los distintos países, se dan soluciones diferentes para esta selección. Por ejemplo: en Estados Unidos las disposiciones legislativas indican solamente criterios generales según los cuales las obras/acciones deberán ser seleccionadas (obras que tengan impactos importantes); en otros países, como Francia, se indican listas de factores positivos o negativos. Canadá ofrece una solución intermedia, consistente en efectuar mediante un pre-estudio, un examen del proyecto que decida si se efectúa o no una E.I.A.

Desde un punto de vista comunitario, es necesario garantizar por una parte, una aplicación mínima de las E.I.A., y por otra parte, conseguir una flexibilidad y adaptabilidad que las hagan viables en los diferentes sistemas administrativos nacionales.

Una lista rígida de obras sometidas a E.I.A., daría una seguridad a la administración y a los promotores en cuanto a las condiciones de implantación de dichas obras, pero podría llevar a efectuar estudios de impactos no necesarios. Por consiguiente, parece razonable el recurrir a listas

mínimas de obras, que necesiten E.I.A., acompañadas de un margen suficiente de discrecionalidad para los distintos estados miembros.

La creación de una lista mínima de obras que producen «importantes» impactos ambientales, es actualmente el sistema más adecuado para la delimitación del campo de trabajo. Estas listas, pueden ser ampliadas «discrecionalmente» por los estados miembros.

## CONTENIDO DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO EN LA CEE

Se admite generalmente que las E.I.A., y los estudios necesarios para su ejecución deben comprender, como mínimo:

- a) Descripción de las actividades consideradas.
- b) Descripción del medio susceptible de ser afectado.
- c) Una evaluación de los posibles impactos.
- d) Una indicación de las alternativas consideradas.

La amplitud efectiva de los estudios de impacto dependerá, por ejemplo, de la noción de medio ambiente y de los tipos de impacto investigados.

Distintos contenidos en los estudios entre los diversos países miembros de la comunidad pueden tener como consecuencia variaciones sensibles de la medida en la que se garantizaría la protección de los recursos naturales y del medio ambiente de un estado a otro.

Los principios, criterios y metodologías de las E.I.A., deben asegurar que los autores de los estudios de impacto tomen en consideración, después de la investigación de los datos base, un cierto número de elementos y que examinen toda la gama de posibles impactos. Es necesario asegurar que en la fase de evaluación propiamente dicha, el estudio se concentre en los elementos destinados a tener un peso importante en la toma de decisión.

Es preciso también, asegurar una flexibilidad suficiente para limitar, si es necesario, el contenido de un estudio de impacto.

En ciertos países se cree que las E.I.A., deben de comprender verdaderos balances de costos y beneficios ambientales ligados a las actividades consideradas. Sin embargo, según la Comunidad, éste no es el objetivo fundamental de las E.I.A. No obstante, el conocimiento de tales datos podrá orientar mejor los debates públicos o ayudar a la búsqueda de soluciones alternativas.

La eficacia práctica de las E.I.A., dependerá en gran medida de las condiciones en las que funcione el sistema.

Los procedimientos administrativos en que se enmarcan las E.I.A., tienen gran importancia.

Parece oportuno, en este terreno, considerar los procedimientos administrativos propios de cada estado miembro, e introducir las E.I.A., integrándolas en los mecanismos y procedimientos administrativos existentes, más que la creación de nuevos procedimientos. Sin embargo, es absolutamente necesario un marco jurídico idóneo.

Es importante que las diferentes fases de las E.I.A., se inserten en los procesos administrativos sin introducir notables retrasos suplementarios al normal desarrollo administrativo.

En lo que concierne a los procedimientos de autorización de obras individuales, los estudios de impacto deben de ser presentados ya en el momento de la petición de autorización, y no sucesivamente, pues así los estudios de impacto ambiental se integrarán en las fases de planificación de la obra y no habrá retrasos posteriores.

En los procedimientos para la elaboración de planes de ordenación del territorio, la posibilidad de integración de las E.I.A., es mayor, en razón del mayor tiempo de planificación y de la naturaleza iterativa del proceso de elaboración de dichos planes.

La elaboración de los estudios de impacto, corresponderá normalmente a los promotores del plan o proyecto. Sin embargo, hay que tener presente que deberán tener en cuenta datos internos o directos del proyecto y datos externos (características medioambientales). Estos datos están normalmente en poder de la Administración Pública y habrá que tener en cuenta y considerar una cooperación de ésta con el promotor.

La responsabilidad de revisar los estudios de impacto dependerá exclusivamente de las autoridades administrativas.

Dado que una de las funciones importantes de las E.I.A., es la de la coordinación, será necesario que los diferentes departamentos administrativos que tengan competencias sectoriales en materia medio ambiental sean consultados para la realización de los estudios de impacto ambiental.

La participación directa del público en las E.I.A., no representa más que una aplicación de la participación de los ciudadanos en los procedimientos administrativos que es considerada, bajo formas y en grados diferentes, en los distintos estados de la Comunidad.

La evolución hacia la introducción de las E.I.A. en los países industrializados, ha coincidido con el incremento de los medios de participación

ciudadana en la administración pública. No es extraño entonces, que tal demanda, esté presente fundamentalmente en las E.I.A., que tratan precisamente de prevenir degradaciones importantes de las condiciones de vida de las poblaciones afectadas por las diferentes acciones consideradas.

La participación del público en los procedimientos de las E.I.A., no será útil si no sobrepasa las formas tradicionales de participación: por ejemplo, participación limitada a personas con título de propiedad, publicidad limitada a actos administrativos, etc. Es necesario prever la participación de un mayor público en las discusiones del estudio de impacto (todas las personas potencialmente afectadas por una obra determinada).

Esta participación eficaz del público presentará varias ventajas. Desde un punto de vista eminentemente técnico, permitirá evaluar impactos de contenidos puramente subjetivos, que serían difícilmente evaluados sin ver la reacción de las personas directamente afectadas. Puede asimismo servir para, conocidos los impactos sobre el medio de vida de una zona, evitar posteriores oposiciones a la acción considerada.

Así pues las autoridades públicas deberán garantizar una información completa (de la acción, estudios de impacto, etc.) y organizar una consulta pública en un estado preliminar del procedimiento y durante los periodos convenientes.

## FRANCIA

En Francia, la labor del Ministerio encargado del Medio Ambiente y de la Calidad de la Vida ha consistido en apoyar, por una parte, la política de preservación de los recursos naturales; elementos irrecuperables o irremplazables del patrimonio nacional, y por otra parte, desarrollar la política de protección del medio ambiente y de lucha contra la contaminación.

A partir de 1973 se considera mayor la necesidad de tener en cuenta el medio ambiente en el proceso de planificación socio-económica, para contribuir a una acción racional y armónica de ordenación del territorio.

En 1976 se promulgó la Ley sobre Protección de la Naturaleza, que fue aprobada por la Asamblea Nacional francesa y el Senado el 10 de julio de 1976.

El artículo 2 de dicha ley, prescribe que todos los proyectos y acciones emprendidos por las entidades públicas o privadas que necesitan la autorización del gobierno, deben ir acompañados de un informe de impacto ambiental. Las consecuencias ambientales de tales proyectos y acciones deben ser conocidas y tenidas en cuenta en las decisiones de las autoridades competentes. La responsabilidad de la aplicación del artículo 2 de la ley, recae en el Ministerio del Medio Ambiente y de la Calidad de Vida, que desarrolló el «decreto de aplicación» de la citada ley, con fecha 12 de octubre de 1977.

Tanto el contenido de la Ley como el del «decreto de aplicación» del artículo 2 citado, son bastante complejos, puesto que están muy mezclados los aspectos de ordenación del territorio, planificación urbanística y protección del medio ambiente.

Los aspectos más significativos del artículo 2, se recogen en tres párrafos, que son:

**A) Primer párrafo**

Se indica que los trabajos y proyectos que se lleven a cabo por una colectividad pública o que necesiten una autorización o precisen de aprobación, así como los planes urbanísticos, deben respetar las condiciones medioambientales.

Este texto impone una prescripción de orden general, con un amplio campo de aplicación, puesto que cubre los trabajos de las administraciones públicas, los trabajos privados sometidos a autorización o aprobación y los planes de urbanismo.

**B) Segundo párrafo**

Los estudios previos a la realización de acciones o proyectos que por sus dimensiones o sus incidencias sobre el medio natural, pueden dañar a este último, deben incorporar un estudio de impacto, que permita apreciar sus consecuencias.

Un decreto del Consejo de Estado regula los siguientes aspectos:

- a) Las condiciones en las que las exigencias ambientales son tomadas en consideración en los trámites reglamentarios existentes, o sea la inserción del procedimiento de evaluación ambiental en las actuaciones administrativas existentes.
- b) El contenido del estudio de impacto, que comprende como mínimo un análisis del estado inicial del lugar y su entorno ambiental, el estudio de las modificaciones que originaría el proyecto y las medidas propuestas para suprimir, reducir y, si es posible, compensar las consecuencias perjudiciales para el medio ambiente.
- c) Las condiciones en las que será hecho público el estudio de impacto.
- d) La lista que limita o define las obras que por razón de sus escasas repercusiones sobre el ambiente no quedan sometidas al trámite de estudio de impacto.
- e) Fija igualmente las condiciones en las que el Ministerio encargado del medio ambiente podría intervenir, o ser llamado a ello, mediante recurso, en todo estudio de impacto.

**C) Párrafo final**

El párrafo final señala que si se presenta un recurso ante al jurisdicción

administrativa, contra una autorización o una decisión aprobatoria de un proyecto incluido en el primer párrafo, y este recurso se funda en la ausencia de estudio de impacto, la jurisdicción competente aprobará la petición de aplazamiento de la ejecución de la decisión. Este aplazamiento es asumido desde que se constata la falta de un estudio de impacto, mediante un procedimiento de urgencia.

Se señala también que la aplicación del decreto se hará en todas las etapas del proceso de planificación, desde los documentos de planificación hasta la realización de los trabajos y construcciones y comprende las siguientes actividades:

**1. Planes de urbanismo**

Se hará en todos los planes de urbanismo:

- Esquema Director de Ordenación y Urbanismo (SDAU).
- Plan de Ocupación del Suelo (POS).
- Plan de Ordenación de zona (PAZ).
- Zona de Ambiente Protegido (ZEP).

***Esquema Director de Ordenación y Urbanismo — Plan de Ocupación del Suelo (SDAU - POS)***

Los planes de urbanismo SDAU y POS deberán constituir el objeto de un análisis del estado inicial del medio ambiente y precisar las condiciones en las cuales el esquema y el plan respectivamente consideran la protección y conservación del medio ambiente, analizando las incidencias de las perspectivas de ordenación en cuanto al paisaje, a los espacios naturales, a la flora y a la fauna. Debe precisar también la forma en que se asegura la protección de la población respecto a los principales perjuicios.

***Zona de Ambiente Protegido (ZEP)***

Este documento tendrá que exponer las perspectivas de desarrollo de la zona y las condiciones consideradas con respecto a las imposiciones medioambientales y a las imposiciones de orden arquitectónico.

***Plan de Ordenación de Zona (PAZ)***

Para el plan de ordenación de la zona, se elaborará un expediente de

realización que precisará las condiciones en que se han tenido en cuenta las imposiciones ambientales.

Dicho expediente debe ir acompañado de un estudio de impacto en las condiciones que se describen en el siguiente apartado.

## 2. Trabajos, obras y actuaciones

El decreto introduce una tramitación en dos niveles, según la importancia de las repercusiones sobre el medio ambiente de los trabajos, obras y actuaciones.

Estas actividades están sometidas a:

1. Un estudio de impacto.
2. Un informe de impacto (procedimiento simplificado).

El trámite de estudio de impacto corresponde a las actividades más importantes, por razón de su naturaleza o aquellas cuyas características sobrepasen el límite fijado por el decreto de aplicación.

En el capítulo 3, se indica la lista de las obras, trabajos y actuaciones que están sometidas al trámite del estudio de impacto.

Los proyectos de obras y trabajos más modestos, tienen una tramitación simplificada, que se materializa en un informe de impacto, que precisará las condiciones en las cuales se tienen en cuenta las imposiciones ambientales.

## CONTENIDO DE UN ESTUDIO DE IMPACTO EN FRANCIA

El decreto precisa el marco general del contenido del estudio de impacto<sup>1</sup>.

Este estudio tiene por objeto conocer de manera sistemática y más formalizada las repercusiones de un proyecto sobre el paisaje, los espacios naturales, el aire, el suelo y el agua, la fauna, la flora y también sobre las poblaciones afectadas.

El propio contenido deberá ser función, por una parte, de «la importancia de las dimensiones de los trabajos o de los proyectos», y por otra

<sup>1</sup> El impacto sobre el medio ambiente puede definirse, como la diferencia entre el medio ambiente futuro modificado tal y como resultará tras la realización del proyecto y el medio ambiente futuro tal y como habría evolucionado normalmente sin el proyecto.

parte, de «la fragilidad o sensibilidad de la zona afectada por la operación», lo que no permite fijar un contenido exhaustivo.

El estudio de impacto presentará sucesivamente:

1. Un análisis del estado inicial del lugar y de su entorno, tratando expresamente de los recursos naturales y de los terrenos y explotaciones agrícolas, forestales, recursos marítimos o de recreo afectados por los trabajos.
2. Un análisis de los efectos sobre el ambiente, es decir, sobre los lugares y paisajes, la fauna y la flora, los espacios naturales y los equilibrios biológicos y si procede, sobre el bienestar de la población vecina (ruidos, vibraciones, olores), o sobre la higiene y salud pública.
3. La razones por las que se ha seleccionado el proyecto que se presenta, entre las diversas propuestas, principalmente desde el punto de vista de las imposiciones del ambiente.
4. Las medidas previstas por el contratista o el promotor para suprimir, reducir y si es posible, compensar las consecuencias perjudiciales del proyecto sobre el medio ambiente, así como la estimación de los correspondientes gastos.

## IMPORTANCIA DEL CONCEPTO DE ALTERNATIVA

De acuerdo con una jurisprudencia reciente, el Decreto de 14 de mayo de 1976 referente a la reforma de la encuesta pública y la Ley sobre la protección de la naturaleza, se ha resaltado que la utilidad pública de una acción, plan o proyecto no debe ya ser juzgada exclusivamente bajo el aspecto del daño a la propiedad privada, sino también con respecto al daño al medio ambiente considerado como un bien colectivo.

Este concepto, que a partir de ese momento se apoya en un texto legislativo, tiene una incidencia directa sobre la propia condición del plan o proyecto.

Así, el que lo lleve a cabo, tendrá que exponer las razones por las que ha sido seleccionado entre las distintas alternativas propuestas.

Si el impacto ambiental resulta entonces excesivo, el proyecto podrá ser rechazado y solicitarse un nuevo estudio.

El estudio de impacto es de la incumbencia del peticionario o del contratista público o privado.

Es obligación del contratista tener en cuenta, bajo su responsabilidad, las imposiciones medioambientales en todas las etapas, desde la concepción a la realización de los proyectos.

En ciertos casos es posible sin embargo que el promotor encargue una parte de estos estudios a una entidad pública. Es el caso de las solicitudes de autorización de roturación presentadas por una colectividad pública.

El estudio de impacto (o el informe) se inserta en los trámites reglamentarios existentes, sin prolongar los plazos normales de instrucción y sin entorpecimiento de los trámites.

Así, el estudio del impacto, aparecerá como el anexo que complementa los estudios técnicos, económicos y financieros, como elemento de ayuda en las decisiones e integrando las imposiciones medioambientales en los proyectos.

## LA PUBLICIDAD DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO EN FRANCIA

La publicidad de los estudios de impacto es la garantía de la objetividad y de la calidad del estudio de impacto.

El estudio se hace público de acuerdo con unas modalidades distintas según la existencia o ausencia del trámite de encuesta pública.

- Para los expedientes sometidos a encuesta pública, el estudio de impacto se incluye en el expediente previo a la declaración de utilidad pública.

Esta medida es plenamente eficaz, puesto que las propias modalidades de la encuesta pública han sido modificadas por el decreto y la instrucción del 14 de mayo de 1976, que por una parte organizan una mejor información y por otra mejoran la participación de los habitantes en la mejora del ambiente y de la calidad de vida.

- Para los expedientes no sometidos a encuesta pública, toda persona física o jurídica puede conocer el estudio de impacto desde que se toma la decisión de autorización o de ejecución, por la autoridad administrativa o la colectividad pública contratista.

La decisión de autorización o de ejecución debe publicarse antes de su realización, mencionando la existencia del estudio de impacto, según las modalidades previstas por las disposiciones reglamentarias.

Cuando no exista medio de publicación, el decreto obliga a publicar la decisión en los diarios locales y si el asunto es de importancia nacional, en los diarios nacionales.

El prefecto del departamento en que se localiza el proyecto o trabajo, indicará a la persona que solicite consultar el estudio, el lugar en donde puede examinarlo.

Corresponde a la Administración ejercer un control del respeto al medio ambiente conforme a los trámites reglamentarios existentes.

El Ministro encargado del medio ambiente podrá intervenir, por su propia iniciativa, en todos los estudios de impacto y dar su dictamen en los plazos reglamentarios.

Por otra parte, toda persona (física o jurídica) informada sobre el estudio de impacto de un proyecto en el ámbito de audiencia de su publicidad, tendrá la posibilidad de solicitar al Ministro encargado del medio ambiente, el intervenir en el estudio de impacto relativo a ese proyecto.

En lo que se refiere al procedimiento de instrucción mixta, se convoca a participar en la conferencia que se organiza al Ministro encargado del medio ambiente en la jurisdicción de la Administración Central y al Delegado Regional del medio ambiente en la jurisdicción local.

## REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA

En 1975 el Gobierno Federal Alemán adoptó los principios de evaluación de los impactos ambientales para aquellas acciones a desarrollar por las autoridades federales. El propósito de la resolución tomada por el Gobierno Federal es muy similar al de la política estadounidense de implantación de informes de impacto ambiental. Sin embargo el procedimiento de evaluación es muy diferente puesto que en la RFA aún no existen informes de impacto ambiental como tales, es decir, con una regulación jurídica específica y la evaluación se ha integrado en los procedimientos resolutivos ya existentes.

El Gobierno Federal no tiene influencia directa en la ordenación y planificación del territorio que es responsabilidad de las autoridades estatales y locales.

La legislación existente para el control de la planificación del suelo y del desarrollo está incluida en la Ley Federal de Planificación Regional, el programa federal de planificación regional, las leyes estatales de Planificación y la Ley Federal de Construcción.

1. La Ley Federal de Planificación Regional es un sistema organizativo que plantea las directrices pertinentes a la planificación regional. Tanto las agencias federales como los Ministros estatales encargados de la Planificación han de seguir estas directrices.
2. El programa federal de planificación regional es la expresión del alcance de la ley anterior. Este programa, además de la adjudicación de fondos para el desarrollo regional, indica el medio de coordinación de los programas de las diferentes agencias estatales dentro de cada estado, coordina los programas interestatales y coordina los programas entre los estados y el gobierno federal.

3. Las leyes de planificación estatales son las que establecen la evaluación del impacto ambiental de proyectos estatales. Según la ley, la agencia de planificación estatal ha de asegurar que se preparen diversas alternativas para un determinado proyecto y que las diversas autoridades locales y estatales tengan la oportunidad de exponer sus opiniones al respecto. Por lo tanto, la responsabilidad de la evaluación ambiental reside en la agencia estatal encargada de la planificación y el medio ambiente y la agencia estatal promotora del proyecto.
4. La Ley Federal sobre Construcción, proporciona una base legal para la planificación a nivel comunitario —plan superior de construcción—. La preparación del plan superior de construcción, pasa por dos estadios. El primer estadio (plan superior preparatorio que indica el uso previsto de todo territorio de una comunidad local) liga a las autoridades que participaron en el desarrollo del plan. El segundo estadio (plan de zonificación) contiene las determinaciones legales para áreas específicas de la comunidad y ofrece la base para la evaluación y regulación de los proyectos de construcción. El público puede intervenir en ambos estadios.

Por una enmienda a la Constitución el Gobierno Federal quedó responsabilizado del control de la contaminación atmosférica, de los residuos sólidos y de los ruidos. En consecuencia, el tratamiento de residuos sólidos pasó a ser regulado por Ley Federal en 1972, en 1974 se aprobó la Ley de Control Federal de la Inmisión que comprende los temas de contaminación atmosférica, ruido, vibraciones, luz, calor y radiaciones y finalmente en 1976 por una enmienda a la Ley Federal sobre Aguas, el control de la calidad y uso del agua quedó también bajo responsabilidad federal.

El instrumento principal de control contenido en la ley es la necesidad de una licencia. Para la concesión de una licencia, el promotor ha de aportar la documentación necesaria para que se pueda realizar una evaluación global. Si la información no es suficiente se le exige la presentación de la información adicional necesaria. Todos los documentos aportados deben ser asequibles al público. Después de finalizado el período de admisión de objeciones o propuestas, la autoridad responsable de la concesión de licencias ha de discutir las objeciones con el promotor y los objetores antes de tomar una decisión.

Los proyectos sometidos a este trámite son tanto públicos como privados, aunque están exentos aquellos proyectos relacionados con la defensa

nacional. No solamente siguen este proceso los nuevos proyectos, sino aquellas ampliaciones de instalaciones ya existentes.

Aún cuando la ley es federal, el Gobierno Federal no está directamente implicado, siendo la autoridad estatal la responsable de la protección ambiental por medio de la evaluación de impacto.

Según la ley, la autoridad responsable financieramente de la construcción de un proyecto/acción debe asumir la responsabilidad del mantenimiento del equipo necesario para la protección contra las emisiones.

Al no existir una legislación específica para los I.I.A., se producen una serie de problemas que hacen a las evaluaciones menos efectivas de lo previsto y deseable.

Los inconvenientes que se prodigan más generalmente son:

- Al no existir especificaciones de la metodología de evaluación de impactos, se ha de recurrir a la asesoría de agencias especializadas en medio ambiente, fundamentalmente a la Agencia Federal del Ambiente, que tiene su sede en Berlín.
- No existen listas de chequeo que aseguren la correcta consideración que merecen los factores ecológicos, socio-políticos, etc., en el estudio de planificación.
- Al estar las evaluaciones incluídas en el marco de la administración pública, no se fomenta la actuación de otras autoridades competentes en temas de medio ambiente, que intervengan de forma directa en las evaluaciones y al ser consideradas como un asunto interno de gobierno, la intervención del público no pasa más allá del nivel puramente informativo.

Como consecuencia de estos inconvenientes el Gobierno de la República Federal Alemana, tomó la resolución en la Conferencia de Ministros del Medio Ambiente de 1977, de adoptar el procedimiento de la evaluación del impacto ambiental a nivel estatal, para todas las medidas a tomar por las autoridades públicas.

La Agencia Federal del Ambiente inició la elaboración de un manual que proveería a las autoridades competentes de la planificación y desarrollo de una herramienta útil para las evaluaciones en todos los niveles de la planificación. Actualmente sólo existe un manual para la evaluación del impacto ambiental en la planificación de autopistas federales.

## HOLANDA

En Holanda está en vías de implantación una legislación específica para los informes de impacto ambiental.

La legislación vigente, contempla aspectos puntuales del deterioro del medio ambiente, tales como la Ley de pesticidas de 1962\*, la Ley sobre Contaminación de Aguas de 1969, y la Ley sobre Contaminación Atmosférica de 1970, entre otras. En ellas, de forma indirecta e incompleta se solicitan informes de evaluación primaria de impacto ambiental, al requerir las autoridades informes de seguridad (nuclear), calidad (pesticidas), límites de vertido (agua) y límites de emisión (aire), etc., antes de otorgar las licencias de instalación.

Estas licencias, son sometidas a audiencia pública únicamente en aquellos casos en los que existen objeciones a su otorgación.

Además de la leyes citadas, están en vías de implantación, otras leyes de protección ambiental específicas, tales como ley de protección de suelos, residuos sólidos, ruido, etc.

Con objeto de encuadrar el ordenamiento jurídico relacionado con la protección del ambiente, dentro de un marco más completo y operativo, el Gobierno Holandés está considerando la creación como ente jurídico de la evaluación de impacto ambiental.

Para su logro, el Ministerio de Sanidad e Higiene Ambiental ha requerido la asesoría del Consejo Central de Protección ambiental en tres puntos:

- Utilidad, como herramienta de trabajo de las evaluaciones de impacto ambiental.
- Adecuación de las evaluaciones de impacto ambiental al marco legal actual.
- Participación ciudadana.

\* La Ley de Energía Nuclear 1963.

El Consejo Central de Protección Ambiental se manifestó respecto a estos puntos en noviembre de 1976, recomendando la implantación de una legislación específica para el estudio, tramitación y ejecución de las evaluaciones de impacto ambiental.

Desde el punto de vista del Gobierno las evaluaciones de impacto ambiental son instrumentos auxiliares a la planificación y toma de decisiones. Son documentos públicos y como tales deben cumplir todos los requerimientos oficiales complementarios.

El Ministerio de Sanidad e Higiene Ambiental siguiendo las recomendaciones del Consejo Central de Protección Ambiental, inició en 1977 nueve ensayos de informes de evaluación del impacto ambiental para verificar su operatividad dentro del sistema institucional holandés.

A mediados del año 1978, los nueve ensayos de evaluación habían sido concluidos, y junto a ellos se había conseguido acumular un conjunto de experiencias humanas, culturales y técnicas que permitieron la redacción en enero de 1979, de un informe metodológico para la realización de evaluaciones de impacto ambiental en el país.

La metodología está contenida en el proyecto de ley presentado al parlamento holandés en agosto de 1979, y tiene dos características fundamentales:

- Por una parte es el resumen de las experiencias recogidas por los expertos holandeses en sus ensayos e investigaciones.
- Por otra parte es una adaptación de las metodologías empleadas en Canadá y Estados Unidos.

En síntesis es la siguiente:

El responsable de la ejecución de un Informe de Impacto Ambiental será el solicitante, pudiendo éste ser público o privado. El costo originado por la ejecución de los estudios y trabajos necesarios para la consecución de un Informe de Impacto Ambiental (I.I.A.) correrá a cargo del solicitante.

La autoridad competente estará obligada a entregar al solicitante, previa petición y pago, toda la información que, relativa a la ejecución del I.I.A., el solicitante precise.

Con objeto de concretar el contenido y trascendencia de un determinado I.I.A., en una reunión previa o «consulta preliminar» entre el solicitante, la autoridad competente y los asesores, se delimitarán la extensión, envergadura y contenido del I.I.A., propuesto.

Cuando más de una autoridad competente esté implicada en un I.I.A.,

se especificará cual es la autoridad de más competencia para atribuirle funciones de coordinación.

La autoridad coordinadora, comunicará a las demás autoridades competentes e interesadas en el tema, los comentarios y variaciones que se vayan produciendo a lo largo del proceso.

Una vez realizado el Informe de Impacto Ambiental la autoridad competente decidirá si dicho informe es completo, correcto y suficientemente enfocado a especificar las decisiones que se han de tomar respecto al proyecto propuesto. En el caso de que la autoridad competente juzgue incompleto, incorrecto o no suficientemente explícito el informe, el solicitante lo rehará o completará a satisfacción de la autoridad competente.

Cuando el informe es aceptado la responsabilidad de dicho informe, recae ya sobre la autoridad competente que lo haya aceptado.

La autoridad competente ha de registrar los resultados de las consultas y de la participación pública en un apéndice y ha de decidir, a la luz de las observaciones recibidas, si el informe debe considerarse como completo.

En el caso contrario la información suplementaria será recopilada y costeada por la autoridad competente, que es siempre la responsable del informe por haberlo aceptado, como se dijo anteriormente.

Una vez acabada esta fase, la autoridad competente ya puede emitir su decisión tomando en cuenta tanto el Informe de Impacto Ambiental como los comentarios y sugerencias de otras autoridades y entidades o grupos independientes. Decisión que tendrá obligatoriamente que ser razonada y justificada ante los grupos consultados.

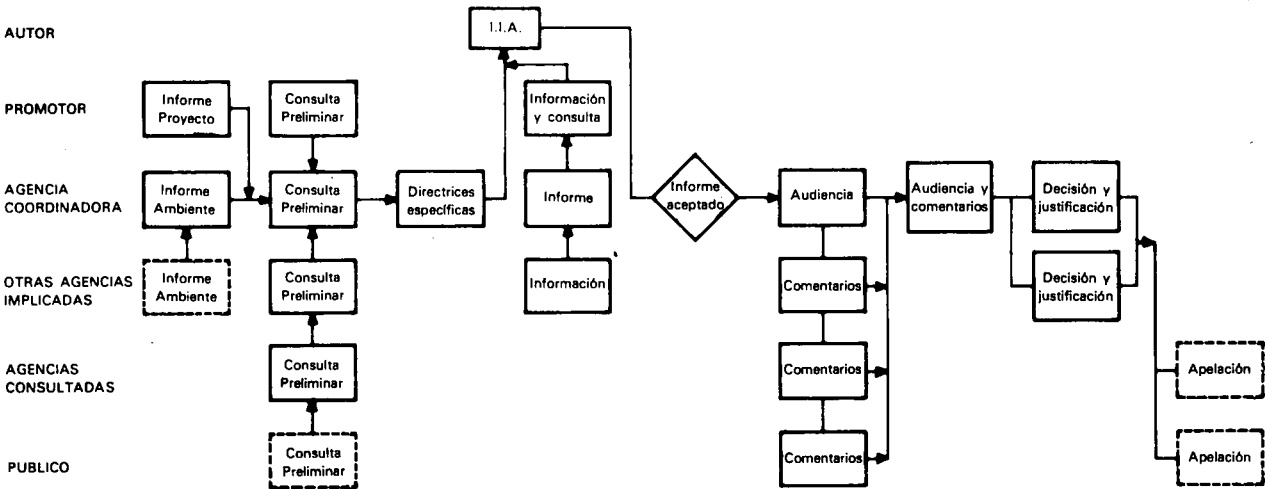
El gobierno holandés considera la supervisión subsiguiente a la toma de decisión como parte final, pero integrante, de un informe de impacto ambiental, ya que constituye una comprobación de los efectos ambientales previstos. Las tareas de supervisión corresponden a la autoridad competente que marcará el tipo y duración de estas tareas. Si fuera necesario el solicitante proporcionará los datos para la realización de dicha supervisión.

El gobierno holandés ha establecido una división de los informes de impacto ambiental, en base a su tramitación técnica y administrativa (CUADROS XXI y XXII).

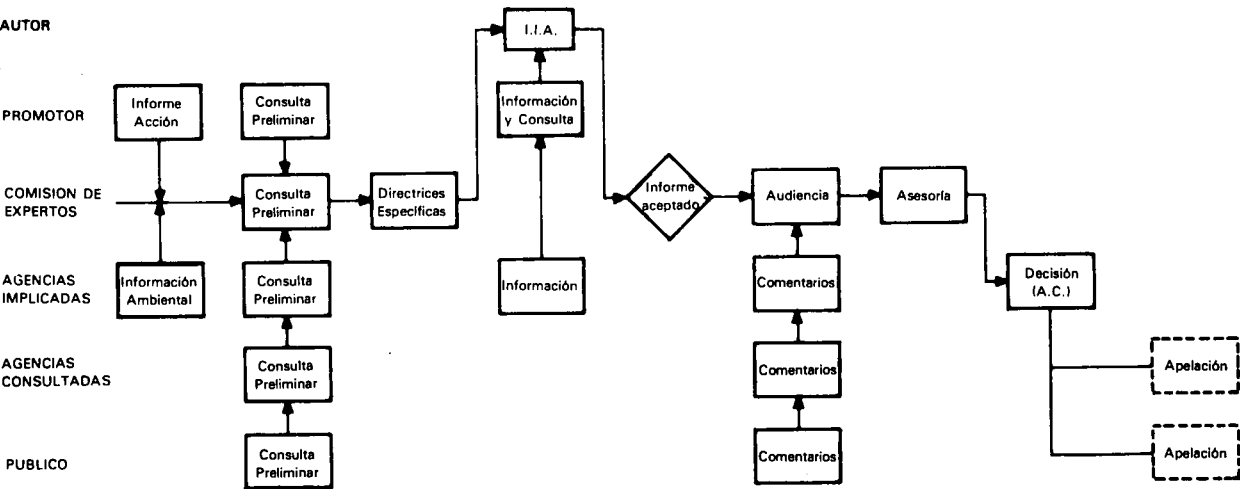
Así, se establecen dos tipos de tramitaciones para los informes de impacto ambiental, siendo uno de ellos de aplicación a todos los proyectos en general. Para aquellos proyectos, planes o acciones de gran envergadura se establece la tramitación de los I.I.A., a través de la creación de una Comisión de expertos.

Esta Comisión independiente de expertos tiene como misión primordial,

Tramitación de un informe de Impacto Ambiental en Holanda



Tramitación de un informe de Impacto Ambiental con inclusión de una Comisión de Expertos en Holanda (grandes proyectos)



emitir las directrices específicas para cada proyecto, revisar los informes de impacto ambiental, comprobar si son completos, correctos y suficientemente enfocados a facilitar la toma de decisiones e incluso participar indirectamente, por medio de recomendaciones, en la decisión final.

La Comisión somete sus recomendaciones a la autoridad competente que las deberá hacer públicas.

Una vez aceptado el informe por la autoridad competente, se establece un período de consulta y participación pública.

Las posibles apelaciones sobre la calidad del informe, su contenido, defectos administrativos, etc., habrán de ser incluidos en los procedimientos jurídicos existentes.

Un elemento estructural muy importante es el formato básico de un I.I.A. El propuesto por este país se ha basado en la concepción de la dinamicidad del medio ambiente.

El formato y contenido de un I.I.A., es el siguiente:

- I. TITULO
- II. RESUMEN
- III. INDICE DE MATERIAS
  1. INTRODUCCION
  2. FIN Y NECESIDAD DE LA ACCION PROPUESTA
  3. MEDIO AMBIENTE EXISTENTE
    - 3.1. Medio ambiente abiótico original
    - 3.2. Modificación del medio ambiente por el ser humano
    - 3.3. Medio ambiente abiótico existente
    - 3.4. Medio ambiente biótico existente
    - 3.5. Influencia de este medio ambiente sobre el ser humano
  4. ACCION PROPUESTA
  5. IMPACTOS SOBRE EL MEDIO AMBIENTE
    - 5.1. Impactos sobre la utilización del medio ambiente
    - 5.2. Impactos sobre el medio ambiente abiótico
    - 5.3. Impactos sobre el medio ambiente biótico

- 5.4. Impactos en la influencia del medio ambiente sobre el ser humano

## 6. CALIFICACION DE IMPACTOS

- 6.1. Impactos inevitables e irreversibles
- 6.2. Medidas atenuantes

## 7. LAGUNAS EN EL CONOCIMIENTO E INFORMACION

## 8. COMPARACION

- 8.1. Alternativas
- 8.2. Patrones existentes y políticos

## 9. PROCEDIMIENTOS LEGALES

## IV. REFERENCIAS, BIBLIOGRAFIA

## V. GLOSARIO

## VI. APENDICES

A nivel gubernamental se determina la obligación de ejecución de un I.I.A., para determinado tipo de acciones, independientemente de la sensibilidad del medio ambiente afectado.

Una Orden Administrativa Nacional marca una lista de acciones que conllevan obligatoriamente la ejecución de un I.I.A.

Una Orden Administrativa Provincial marca aquellas acciones no incluidas en la Orden anterior y que por su relación con zonas ecológicas importantes o sujetas a una acumulación de efectos ambientales negativos deberán someterse a un trámite de I.I.A.

En general, los I.I.A., han de limitarse a aquellas acciones que puedan afectar seriamente al entorno ambiental, tanto sean acciones estatales o del sector privado.

## ISRAEL

Aunque en Israel la presentación de un informe de impacto ambiental no es aún obligatoria, de acuerdo con la legislación israelí, no ha sido aprobado ningún proyecto de gran escala, bien a nivel nacional o regional sin la previa presentación de un informe acerca del impacto ambiental del mismo.

El Servicio de Protección Ambiental ha esbozado una enmienda a la Ley de Planificación y Construcción de 1975 que hará obligatoria la presentación de un informe de impacto ambiental en cierto número de casos. La enmienda capacitará al Ministerio del Interior para establecer regulaciones concernientes al tipo de proyecto que requerirán el Informe de Impacto Ambiental, el contenido del Informe y los procedimientos y sistemas de su preparación, presentación y revisión. Además, el Proyecto de Ley establece que la institución que ha de aprobar los planes estará autorizada para exigir al solicitante o promotor de un proyecto el permiso para elaborar un informe de impacto ambiental en los casos en que el plan propuesto pueda tener un impacto sustancial sobre el medio ambiente, (aún cuando estos casos no estén entre los definidos por el Ministerio del Interior). Las autoridades de planificación deberán tener en cuenta el Informe de Impacto Ambiental a la hora de aprobar el proyecto.

Inicialmente sólo se requerirá la presentación de una E.I.A., para las actividades de desarrollo a nivel nacional o regional de acuerdo con las normas establecidas por el Ministerio del Interior. Estas pueden incluir Centrales de Energía, Aeropuertos, Plantas regionales para purificación de desperdicios, nuevas ciudades, carreteras nacionales, industria pesada fuera de centros industriales, puertos y zonas destinadas a depósitos de residuos sólidos. Las normas detalladas para la preparación de las E.I.A., para algunas de las obras arriba mencionadas, ya han sido elaboradas. Estas se encuentran entre las normas más detalladas y específicas que existen hoy en el mundo.

En lo que se refiere al contenido del informe, sus componentes se han basado en el modelo americano que incluye los siguientes puntos generales:

- a) Una descripción del Medio Ambiente sin la actividad propuesta.
- b) Una descripción de la actividad propuesta.
- c) Una evaluación de los impactos potenciales de la actividad y los medios para su prevención.
- d) Alternativas.

La E.I.A., debe ser preparada por el planificador del proyecto y ha de presentarse a la Institución de Planificación que lo haya solicitado o a la institución que debe recibir el proyecto para su aprobación.

## JAPON

Los graves problemas de contaminación existentes en Japón, fundamentalmente los relacionados con la degradación del aire y agua, indujeron al Gobierno Japonés a la puesta en marcha en 1965 de un programa sistemático de protección ambiental, dirigido a los grandes proyectos/acciones con un potencial impacto ambiental.

En 1972, fueron aprobados por el Gobierno una serie de medidas, encaminadas al establecimiento de las evaluaciones elementales de impacto ambiental para varias categorías de trabajos públicos.

Así, los ministerios y agencias tienen la obligación de exigir a los promotores de proyectos, la realización de evaluaciones de impacto que contemplen la protección ambiental y la prevención de la contaminación. Los ministerios de transporte, construcción, agricultura y bosques, dirigieron sus esfuerzos al desarrollo de procedimientos para la realización de evaluaciones de impacto ambiental en los proyectos y acciones específicas.

La Agencia del Ambiente Japonesa intervino ya en la supervisión de 590 proyectos/acciones de gran escala durante los años 1974-1975.

Como consecuencia de la aplicación de las primeras evaluaciones de impacto ambiental, fue necesaria la adecuación de la legislación a las nuevas necesidades ambientales, para su más correcta aplicación.

Las nuevas Leyes de Aguas, de Conservación del Mar y Ordenación Territorial, contienen normas específicas para las evaluaciones de impacto ambiental de ciertos proyectos.

Un grupo de asesores para los sistemas de evaluación ambiental visitó varios países extranjeros por encargo del Consejo Nipón de Control de la Contaminación Ambiental en 1975.

Las conclusiones de estas visitas, junto a las investigaciones metodológicas desarrolladas por este grupo de expertos se concretó en la redacción de un documento titulado: «Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

para el Japón». Gran parte de las acciones emprendidas por el Gobierno en el campo del medio ambiente se han basado en dichos documentos.

La Ley de Uso del Territorio es parte fundamental de la protección ambiental, por las enormes implicaciones que tiene en un medio ambiente de las características de las del Japón. Dicha Ley, aprobada por el Gabinete en mayo de 1976, en su artículo 5, cubre los aspectos básicos del uso del terreno en el conjunto del país y es la base para la planificación del territorio a nivel nacional/provincial. El principio fundamental que informa esta ley es la protección de la vida en sus aspectos culturales y sanitarios y un desarrollo equilibrado junto con el uso racional del suelo. La Ley considera el uso del territorio como un factor social dinámico, capaz de recibir el crecimiento de la población, la creación de nuevas urbanizaciones, y la expansión de las actividades sociales y económicas de la nación. Especial atención se presta a la protección ambiental, a la conservación del ambiente natural, a las zonas agrícolas, bosques, lugares de interés histórico y al control de las inundaciones.

El Gobierno Japonés considera que sus líneas de actuación futuras deben basarse en el desarrollo de los siguientes puntos:

- La excesiva demanda de terreno debe ser disminuída, promocionando una utilización del disponible.
- La transformación de bosques, llanuras y zonas agrícolas, por ejemplo, para zonas habitables, debe ser eludida en lo posible, dada la dificultad de restaurarlo posteriormente a su estado inicial.

Como directrices básicas deben ser consideradas las siguientes:

- Las zonas agrícolas deben ser conservadas como tales potenciando su rendimiento al máximo para mantener y aumentar el autoabastecimiento alimentario de la nación.
- Los bosques son imprescindibles por varias razones públicas, incluyendo el abastecimiento de madera, el control de las escorrentías superficiales, como lugar de esparcimiento, y como parte integrante del ambiente. El cuidado y la plantación de árboles en las ciudades y suburbios deben ser fomentados para conseguir un buen ambiente urbano.
- Las llanuras de gran importancia ambiental, deben ser protegidas por su riqueza en flora y fauna. Algunas llanuras pobres en flora

y fauna pueden ser transformadas para otros usos, siempre que se preste la debida atención a la protección del ambiente.

- Deben protegerse las aguas superficiales y los terrenos necesarios para el desarrollo de los recursos hídricos, energía hidroeléctrica y sistemas de regadíos, cuidando siempre de la preservación del ambiente natural.
- En la adquisición de terrenos para la construcción de carreteras, se ha de considerar la conservación del ambiente.
- En la adquisición de terreno para viviendas, deben fomentarse la creación de puestos de trabajo. En las grandes ciudades y otras zonas urbanas, deben implantarse los espacios abiertos y se debe mejorar el ambiente residencial.
- El empleo del terreno es básico para el desarrollo industrial y económico, pero deben tenerse en cuenta la necesaria protección del suelo y la promoción de nuevos emplazamientos para la industria existente.
- Por su importancia en la vida de la población, el terreno debe ser protegido para su empleo como parques, zonas verdes, zonas educativas, culturales y deportivas.
- El crecimiento de las zonas urbanas de concentrada población es previsible, por lo que la planificación a largo plazo ha de considerar la armonización del territorio para usos urbanos, forestales y agrícolas.
- Deben establecerse las directrices para el uso y conservación de playas y zonas costeras sin demora.

Todos estos aspectos son tenidos en cuenta en la realización de las E.I.A.

## UNION SOVIETICA

El uso racional de los recursos naturales y su protección frente a la contaminación es uno de los objetivos básicos del Estado Ruso, que para su cumplimiento los ha integrado en el artículo 18 de su Constitución. Dicho artículo dice en síntesis:

En interés de las actuales y futuras generaciones, deben adoptarse las medidas necesarias para proteger y desarrollar científicamente el uso racional del territorio, los recursos hídricos y minerales, el reino animal y vegetal, conservar la calidad del aire y agua, y asegurar la reproducción de los recursos naturales renovables mejorando el medio ambiente”.

Los planes de desarrollo social y económico, incluyen un capítulo especial denominado «Protección Ambiental y uso racional de los recursos naturales», cuyo cumplimiento recae sobre el Consejo de Ministros de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Los planes de política ambiental son preparados por la Comisión del Estado para la Planificación, los ministros estatales y Consejo de Ministros de la URSS.

Los trabajos de protección ambiental y de uso racional de los recursos naturales son asignados a agencias específicas (Ministerios, Consejos de Ministros, Cuerpos de la Administración Local, Empresas y Organizaciones), que disponen de los necesarios medios económicos, humanos, equipos, etc, para su ejecución.

Al preparar los borradores de los planes de protección ambiental y de uso racional de los recursos naturales, se presta una atención especial a los problemas relacionados con el desarrollo y el máximo rendimiento de la capacidad productora del país.

En la planificación se consideran paralelamente aquellas medidas dirigi-

das a la protección del ambiente, así como las dirigidas a una mejor explotación de los recursos naturales. Uno de los fines primordiales es el de concentrar los recursos financieros en las áreas más necesitadas de medidas de protección ambiental.

El sistema económico soviético basado en la propiedad socialista de todos los medios de producción y de los recursos naturales (suelo, subsuelo, agua, bosques, etc.), utiliza planes de desarrollo económico y social de largo plazo. Dentro de estos planes, se encuentran las medidas de protección ambiental y uso racional de los recursos. Estas medidas pueden ser agrupadas en dos categorías:

- Medidas relativas a actividades operativas.
- Medidas relativas a trabajos técnicos y científicos.

Las líneas maestras de actuación están encaminadas a una reducción sustancial de la influencia perniciosa de la industria, agricultura, transporte, servicios públicos, etc., en el medio ambiente.

Los trabajos técnicos y científicos están enfocados a resolver el problema a largo plazo de la degradación ambiental y a una mejora en el desarrollo de los recursos naturales.

Las bases para realizar un estudio de las actividades que han de llevarse a cabo en el campo de la utilización y protección del ambiente en el futuro, se basan en la predicción de los posibles cambios materiales en la biosfera provocados por el desarrollo de ciertos sectores de la economía nacional.

La predicción analítica se realiza sobre dos bases diferentes, por industria y por zona. El fin primordial de dichos análisis es determinar los problemas ambientales graves previstos y las causas principales de su aparición y desarrollo.

Desde 1976, los problemas técnicos y científicos relacionados con el ambiente, han sido solucionados por medio de programas especiales de actuación. La preparación de estos programas es función de los ministerios y departamentos competentes. Cuando se presenta un problema específico, la organización responsable de su solución estudia todas las alternativas posibles, establece comparaciones analíticas, técnicas y económicas, estudia los efectos ecológicos, y los recursos y tiempo empleado en cada caso, etc.

En base a estos estudios se determinan y exponen los fines y métodos programados para la resolución del problema. En el programa de trabajo

se determinan: los entes ejecutivos, las fases y los calendarios de trabajo, y las fuentes y volumen de financiación.

Los problemas y las actividades pertinentes a su resolución se aprueban en el Soviet Supremo bajo planes quinquenales de desarrollo socio-económico, mientras que los programas específicos de trabajo relacionados con la resolución de problemas derivados los aprueba el Comité Estatal de Ciencias y Tecnología de la URSS.

El desarrollo de estos programas preventivos está condicionado a la no ruptura del ritmo de desarrollo económico del país.

Las evaluaciones de impacto ambiental (E.I.A.) han sido incluidas en diversos niveles dentro del sistema socialista de planificación estatal vigente en la URSS. Por un decreto de 1972 se crea una sección especial de protección ambiental y uso racional de los recursos naturales, que estará incluida a partir de esa fecha dentro de los planes de desarrollo estatal.

Dentro de los planes de protección ambiental elaborados por el Comité Estatal de Planificación, los Ministerios competentes y Consejo de Ministros de las Repúblicas Soviéticas, se consideran los siguientes factores:

- La dinamicidad del ambiente en función de las transformaciones provocadas por el uso de recursos y su contaminación.
- La necesidad del empleo de análisis sistemáticos para determinar las medidas necesarias a aplicar en la protección ambiental.
- La integración de la planificación en los diversos niveles.
- El obligatorio soporte financiero para las medidas de protección ambiental adoptadas.

El desarrollo de planes de protección ambiental y uso racional de los recursos naturales se ha fundamentado en el conocimiento y estudio de 220 indicadores.

En la puesta en marcha de estos planes, los problemas que requieren mayor atención son los problemas de desarrollo y ocupación del territorio, la distribución racional de actividades y los criterios de minimización de los impactos introducidos.

Antes de la decisión de autorizar una determinada actividad industrial, las autoridades encargadas de la planificación, evalúan la situación ecológica de la zona y el potencial aumento de la contaminación que en ningún caso podrá exceder los niveles establecidos por las autoridades estatales.

En 1976, el Comité Estatal de Construcción publicó un documento regulador que especifica las medidas que son necesarias tomar para reducir o evitar la degradación ambiental.

En la actualidad, parece que se está produciendo un desarrollo en la URSS, en el campo de las E.I.A., que se concreta en:

- Desarrollo y aplicación de programas específicos orientados a la protección ambiental.
- Balances ecológicos a nivel sectorial y regional.
- Creación del Comité Estatal de Hidrometeorología y Control Ambiental, responsable directo de la protección ambiental.
- Elaboración de la «Metodología para la evaluación económica y no económica del impacto del ser humano en el ambiente» que ha sido aplicada a nivel de ensayo en la región del Kursk.

De todos modos hay que señalar que de la Unión Soviética se dispone de muy poca información concreta.

## ORGANISMOS INTERNACIONALES

Además de los países citados, a título de ejemplo, hay otros muchos que han implantado ya las Evaluaciones de Impacto Ambiental, además de haber sido éstas estudiadas y recomendada su aplicación por los Organismos Internacionales que se ocupan con más frecuencia del Medio Ambiente. Entre ellos hay que destacar los trabajos realizados sobre las E.I.A., en los siguientes:

- OCDE
- CEPE
- ONUDI
- Consejo de Europa
- PNUMA

La forma de abordar los problemas del medio ambiente y por tanto, la promulgación de legislación, su aplicación y los diferentes sistemas de gestión ambiental difiere de unos países a otros, según su régimen político y socioeconómico y dependen de las circunstancias ambientales y condiciones ecológicas de su medio. Por tanto, también la implantación de los estudios de impacto ambiental, su contenido, sus metodologías y procedimientos administrativos difieren de unos países a otros, pero en general en los países occidentales y concretamente en los que forman parte de la Comunidad Económica Europea, los aspectos generales y comunes a los que debe darse respuesta son los siguientes:

- a) Modo de integración de los estudios de impacto ambiental en la planificación y la toma de decisiones.

- b) Aspectos ambientales a considerar e inversamente, tipos de acciones que requieren estudios científicos de impacto.
- c) Resolución del problema de competencias administrativas para la exigencia de los estudios, análisis final de los mismos, imposición de medidas correctoras o de adopción de alternativas y verificación posterior de lo recomendado y aprobado en el estudio de impacto.
- d) Disposición de fuentes de información; obtención de los datos de base; actualización de los mismos; comprobación sobre el terreno y control continuo de dichos datos.
- e) Reparto de los costos de los estudios de impacto entre las partes interesadas.
- f) Medios y procedimientos para informar e interesar al público, incluyendo la posibilidad de los recursos judiciales contra las decisiones adoptadas a la vista de los resultados de los estudios de impacto.

### BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS UTILIZADAS

- The National Environmental Policy Act of 1969* - (NEPA) EE.UU., Ley de 1 de enero de 1970, sobre política ambiental.
- EPA (USA) - *Guidelines for Review of Environmental Impact Statements*, vol. 1. Highway Project, vol. III, Proyectos de Embalses, 1973 y 1978.
- LEOPOLD, L. B., y otros.: *"A Procedure for Evaluating Environmental Impact"*. Servicio Geológico, EE.UU., Departamento del Interior. Circular n.º 645, 1971.
- NORBERT DEE y otros.: *"Environmental Evaluation System for Water Resources"*. Planning, Battelle-Columbus Laboratories, Ohio, 1973.
- Directivas de la Comunidad Económica Europea sobre evaluación del impacto ambiental de obras públicas y privadas, 1977, 1980, 1983.
- ESTEVAN BOLEA, M. T.: *"Las Evaluaciones de Impacto Ambiental"*, Tratado sobre el Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid, 1981.
- ESTEVAN BOLEA, M. T.: *"Las Evaluaciones de Impacto Ambiental"*, Cuadernos CIFCA, n.º 3, Madrid, 1977.
- ESTEVAN BOLEA, M. T.: *"Impacto Ambiental de Centrales Nucleares"*, Cuadernos CIFCA, n.º 6, Madrid, 1978.
- ESTEVAN BOLEA, M.T.: *"Análisis de Impacto Ambiental. Principios, procedimientos y metodologías"*, Taller de Análisis de Impacto Ambiental, Subsecretaría de Medio Ambiente y Organización Panamericana de la Salud, Buenos Aires, 1983.
- ESTEVAN BOLEA, M. T., GARCÍA NOVO, F., RODRIGUEZ PARADINAS, E. y varios.: *"Evaluación del Impacto Ambiental del Puerto Industrial de Laguna del Ostión y Complejos Petroquímicos"*. Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente, México, 1981.
- Comité Nacional Español de Grandes Presas, *"Las presas y el medio ambiente"*, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1982.
- PNUMA, *"Principes directeurs pour l'évaluation de l'impact sur l'environnement des industries et les critères environnementaux de leur implantation"*, Serie industria y medio ambiente, vol. 1, Moscú, 1981.
- Dirección General del Medio Ambiente, *"Unidades Temáticas Ambientales: El aire, el agua, la naturaleza, el mar, la energía, el ruido, residuos sólidos, aspectos económicos del me-*

- dio ambiente, las evaluaciones de impacto ambiental*", Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1982.
- Ministerio de Industria y Energía, "*Manual de cálculo de altura de chimeneas industriales*". Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 1981.
- TAPIA CONTRERAS, J.: "*Introducción a la meteorología ambiental*". Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 1981.
- ECHAGÜE, G.: "*Los modelos de difusión atmosférica en las E.I.A. Su aplicación a refinerías*". Trabajo no publicado, Madrid, 1982.
- SEOANEZ CALVO, M.: "*La contaminación agraria*" INIA, Ministerio de Agricultura, Madrid, 1977.
- SEOANEZ CALVO, M.: "*Aprovechamiento y tratamientos agrarios de las aguas residuales urbanas*", Monografía n.º 25, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, 1978.
- Centro de Estudios Hidrográficos. "*El agua en España*", Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1980.
- Dirección General del Medio Ambiente. "*Los residuos tóxicos y peligrosos*", Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1982.
- Toxic Substances Strategy Committee. "*Toxic Chemicals and Public Protection*", Un informe al Presidente de los Estados Unidos, U. S. Government Printing Office, Washington, 1980.
- GÓMEZ OREA, D.: "*El medio físico y la planificación*" Cuadernos CIFCA, n.º 10 y 11, Madrid, 1979.
- MARGALEF, R.: "*Ecología*", Editorial Omega y Editorial Planeta, Barcelona, 1974 y 1981.
- KORMONDY, E. J.: "*Conceptos de ecología*", Alianza Editorial, Madrid, 1978.
- "*Environmental Impact Assessment: Procedural and Institutional Questions*", Note by the Secretariat of the ECE Seminar, julio, 1979.
- "*Report on the ECE Seminar on Environmental Impact Assessment*", Villach (Austria), septiembre 1979.
- O.C.D.E. "*Les études d'impact sur l'environnement*", París, 1979.
- BALDERIOTE, M. S.: "*Las grandes obras de infraestructura y el ordenamiento ambiental*", Summa, n.º 127, Buenos Aires, 1978.
- LÓPEZ PORTILLO, M. L., y varios.: "*El Medio Ambiente en México. Temas, problemas y alternativas*", Fondo de Cultura Económica, México, 1982.
- Banco Mundial. "*Consideraciones ambientales de salud y ecología humana en proyectos de desarrollo económico*", Washington, 1974.
- HEER, J.E., Jr. y HAGERTY, J.: "*Environmental Assessments and Statements*", Van Nostrand Reinhold, Col, New York, 1977.
- CANTER, L. W.: "*Environmental Impact Assessment*", Mc Graw - Hill Co, New York, 1977.
- JAIN, R. K., URBAN, STACEY.: "*Environmental Impact analysis. A new dimension in decision-making*" Van Nostrand Reinhold Co, New York, 1977.

- NIJKAMP, P.: "*Theory and application of environmental economics*". North-Holland Publishing Co, Amsterdam, 1977.
- RODGERS, J. L., Jr.: "*Environmental Impact Assessment, growth, management and the comprehensive Plan*" Ballinger Publishing Co, Cambridge, Massachusetts, 1976.
- CANNON, J.: "*A clear view. Guide to industrial pollution control*" Rodale Press, Inc., Emmaus, Pennsylvania, 1976.
- CHEREMISINOFF, P. N., y MORRESI, A. C.: "*Environmental Assessment and Impact Statement Handbook*". Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, Michigan, 1977.
- "*The Environmental Impact Statement Process*", Office of Federal Activities, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, 1976.
- Gobierno Federal Canadiense. "*Revised Guide to the Federal Environmental Assessment and Review Process*", 1979.
- Ley Federal de Protección del Ambiente, México, 1982.
- LEME MACHADO, P. A.: "*Direito Ambiental Brasileiro*". Editora Revista dos Tribunais, Sao Paulo, 1982.
- Ley n.º 6416 del Gobierno de Entre Ríos, República Argentina. "*Uso del espacio y preservación del Medio Ambiente en la Región de Salto Grande*", 1979.
- Subsecretaría de Medio Ambiente, República Argentina. "*Impacto ambiental de las actividades humanas*". Buenos Aires, 1981.
- CRAVIOTTO, M. A., y KOOLEN, R.: Anteproyecto de Ley de Ordenamiento Ambiental, 6.º Congreso Argentino de Saneamiento, Salta, Argentina, 1983.
- ITAIPU Binacional. "*Primer Seminario de la Itaipu-Binacional sobre medio ambiente*". Coordinador E. Campos Cervera, Asunción, 1981.
- "*Special Environmental Assessment of Regulations proposed under Executive Order 11991 to implement the procedural provisions of the National Environmental Policy Act*". Prepared by the Council on Environmental Quality. Executive Office of the President; Washington, mayo, 1978.
- "*Detailed Outline of contents of the Cabinet memoranda establishing the Federal Environmental Assessment and Review Process*". Federal Environmental Assessment Review Office, Canadá, abril, 1978.
- "*Guide for Environmental Screening*". Federal Environmental Assessment and Review Process, Canadá, 1978.
- "*Revised Guide to the Federal Environmental Assessment and Review Process*". Federal Environmental Assessment Review Office, Canadá, mayo, 1979.
- "*Etude d'impact sur l'environnement et Consultation Publique*". Gouvernement de Québec. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, Canadá.
- "*Governmental Standpoint on Environmental Impact Statement*". Ministry of Health and Environmental Protection, Holanda, agosto, 1979.
- Loi n.º 76-629 du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature, France.:

"*Protection de la nature*". Application de l'article 2 de la loi n.º 76-629 du 10 juillet 1976, Décret et circulaire du 12 octobre 1977, Francia.

"*L'étude d'impact sur l'environnement*". Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie, Francia.

"*L'évaluation d'impact sur l'environnement dans le contexte des Communautés européennes*". (ENV/549/70). Séminaire sur l'évaluation d'impact sur l'environnement, Villach (Austria), septiembre, 1979.

ECE Seminar on Environmental Impact Assessment. "*Public Participation in the Canadian Environmental Assessment and Review Process*". ENV/Sem. 10/Com. 4, septiembre, 1979.

## BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA. PLANTEAMIENTO GLOBAL

CLARK, B. D., CHAPMAN, K., BISSET, R., y WATHERN, P.: "*Assessment of Major Industrial Applications*". Research Report, n.º 13, DoE, Londres, 1977.

"*Environmental Impact Assessment in the U.S.A., A Critical Review*". Research Report n.º 26, Doe, Londres, 1978.

GOLDEN, J., QUELLETE, R. P., SAARI, S., y CHEREMISINOFF, P. N.: "*Environmental Impact Data Book*". Ann Arbor Science Publishers Inc, 1979.

HOLDGATE, M. W.: "*A Perspective of Environmental Pollution*". Cambridge University Press, 1979.

MUNN, R. E.: "*Evaluation des impacts sur l'environnement: principes et méthodes*". SCOPE Rapport n.º 5. Toronto. ICSU—SCOPE. ed, 1975.

Nacional Academy of Sciences. "*Environmental Monitoring. Analytical Studies for the U.S.*" Environmental Protection Agency. vol. 4. A report of the U.S., EPA from the Study Group on Environmental Monitoring. Washington D.C., 1977.

SCOPE/UNEP. "*Environment and Development*". Proceedings of SCOPE/UNEP Symposium on Environmental Sciences in Developing Countries. Nairobi, february 1974. Scientific Committee on Problems of the Environment, Paris, 1974.

U.S. EPA. "*Environmental Impact Assessment Guidelines for Selected New Source Industries*". Office of Federal Activities, U. S. EPA, Washington D.C., 1975.

C. S. "*Adaptive Environmental Impact Assessment*". Holling ed. 1978, ILASA.

CEE. "*Les études d'impact sur l'environnement: bref exposé des méthodes et des modèles utilisés et de leurs avantages respectifs*". ENV/r. 81, CEE Genève (restreint), 1977.

World Bank. "*Environmental Considerations for the Industrial Development Sector*". 1978.

UK Department of the Environment. "*Assessment of Major Industrial Applications*". A. Manual Research Report 13, D.O.E., 1976.

## Clima y Calidad del Aire

ARC. "*The Effects of Air Pollution on Plants and Soil*". Agricultural Research Council, Londres, 1967.

CASARRET, L. J., y DOULL, J. D.: "*Toxicology, The Basic Science of Poisons*". Macmillan, New York, eds, 1975.

COOK, J., y WARNER, F.: "*Assessment of Environmental Impact of Chemical Substances*". A Roy. Soc. Discussion. The Royal Society, Londres, 1974.

CRITCHFIELD, H. J.: "*General Climatology*". 2nd ed Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1966.

DOLL, R.: "*Long-Term Hazards from Environmental Chemicals*". Roy. Soc. Discussion. 197 pp. The Royal Society, Londres, 1979.

GEIGER, R.: "*The Climate Near the Ground*". Harvard University Press, Cambridge, Mass, 1965.

HALTINER, G. J., y MARTIN, F. L.: "*Dynamical and Physical Meteorology*". McGraw-Hill, New York, 1957.

LUDWIG, F. L., y al.: "*A Practical, Multipurpose Urban Diffusion Model for Carbon Monoxide*". Stanford Research Institute, Menlo Park, USA. Contract CPA 22-69-64, NTIS PB-196 003, 1972.

Royal Society. "*Assessment of the Environmental Impact of Chemical Substances*". Proceedings of the Royal Society, series B. 185 (1079), 1974.

RUMNEY, G. R.: "*Climatology and the World's Climates*". Macmillan, New York, 1968.

SCORER, R. S.: "*Air Pollution*". Pergamon Press, 1968.

SCORER, R. S.: "*Environmental Aerodynamics*". Horwood, Chichester, Inglaterra, 1978.

SMITH, M.: "*Recommended Guide for the Prediction of the Dispersion of Airborne Effluents*". The American Society of Mechanical Engineers, New York, 1968.

STERN, A. C.: "*Air Pollution (3rd ed)*". Volumes I-V. Academic Press, New York, 1977.

SUGDEN, T. M.: "*Pathways of Pollutants in the Atmosphere*". Society Discussion, 637. The Royal Society, Londres, ed, 1979.

TRESHAW, M.: "*Environmental and Plant Response*". McGraw-Hill, New York, 1970.

TURNER, D. B.: "*Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates (Revised)*". Office of Air Programs, U.S.E.P.A., Washington D.C., 1970.

U.S. EPA. "*Industrial Guide for Air Pollution Control Technology Transfer*". Washington D.C., 1978.

U.S. EPA "*User's Guide for the Climatological Dispersion Model*". RA-73-024. U.S. EPA, Washington D.C., 1973.

## Agua

A.P.H.A. "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*". pp. 874. American Public Health Association, Washington, D.C., 1971, 13th ed.

BALDWIN, H. L., y MCGUINNESS, C. L.: "*A Primer on Ground Water*". USGPO, Washington, D.C., 1963.

- CAIRNS, J., y DICKSON, J. S.: "*Biological Methods for the Assessment of Water Quality*". American Society for Testing Materials. Special Technical Publication 528. American Society for Testing Materials, Philadelphia, eds, 1973.
- DAVIS, S. N., y DEWEIST, R. T.: "*Hydrogeology*". John Wiley & Sons Inc. New York, 1970.
- DUNNE, T., y LEOPOLD, L. B.: "*Water in Environmental Planning*". W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1978.
- FAIR, G. M., GEYER, J. C., y OKUND, D. A.: "*Water and Waste Water Engineering*". vol. 1. Wiley & Sons, Inc., New York, 1966.
- GOLTERMANN, H. L., y CLYMO, R. S.: "*Methods for Chemical Analysis of Freshwaters*". IBP Handbook n.º 8. Blackwell Scientific Publications, pp. 180, Oxford, Inglaterra, eds, 1969.
- HELLAWELL, J. M.: "*Biological Surveillance of Rivers*". Water Research Centre, Stevenage, Inglaterra, 1978.
- HEM, J. D.: "*Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*". Water Supply Paper 1473, U.S. Geological Survey, Washington, D.C., 1970.
- HUTCHINSON, G. E.: "*A Treatise on Limnology*". vol. I. Geography, Physics and Chemistry. Wiley, New York, 1957.
- INSTAB. "*Index of Solubility, Toxicity and Biodegradability of Freshwater Pollutants*". Continually up-dated information service provided by Water Research Centre, Medmenham, Bucks and Stevenage, Herts, U.K.
- LEE, G. F., y VEITH, G. D.: "*Effects of Thermal Discharges on the Chemical Parameters of Water Quality and Eutrophication*". In: International Symposium on the Identification and Measurement of Environmental Pollution. National Research Council of Canada, Ottawa, 1971.
- LINSLEY, R. K., y FRANZINI, J. B.: "*Water Resources Engineering*". Wiley & Sons, Inc, New York, 1964.
- LINSLEY, R. K., KOHLER, y PAULHUS: "*Hydrology for Engineers*". McGrawHill, New York, 1966.
- MACKENTHUM, K. M.: "*The Practice of Water Pollution Biology*". U.S. Government Printing Office, Washington D.C., 1969.
- MANCY, K.H., y WEBER, W. J. Jr.: "*Analysis of Industrial Waste Waters*". Interscience Publishers Inc., New York, 1971.
- MONTGOMERY, H. A. C., y HART, I. C.: "*The Design of Sampling Programmes for Rivers and Effluents*". Water Pollution Control London, 73: 77-101, 1974.
- NAYLOR, T. A., ROWLAND, C. D., YOUNG, C. P., y BARBER, C.: "*The Investigation of Landfill Sites*". Water Research Council, Stevenage, Inglaterra, 1978.
- OCDE. "*L'eutrophication dans les grands lacs et les retenues d'eau*". (rapport bilingue). Organisation pour la Coopération Economique et le Développement, Paris. 1970.
- PENMAN, H. L.: "*Vegetation and Hydrology*". Commonwealth Bureau of Soils. Technical Communication 53, 1953.
- STRICKLAND, J. D. H., y PARSONS, T. R.: "*A Practical Handbook of Seawater Analysis*".

- Fisheries Researchs Board of Canada. Bulletin n.º 167. 3rd ed. Ottawa, 1968.
- SWENSON, H. A., y BALDWIN, H. L.: "*A Primer on Water Quality*". USGPO, Washington, D.C., 1965.
- TODD, D. K.: "*Groundwater Hydrology*". Wiley Co., New York., 1959.
- U.S. Environmental Protection Agency. "*Environmental Assessments for Effective Water Quality Management Planning*". USEPA, Washington, D.C. 1972.
- U.S. Environmental Protection Agency. "*Proposed Criteria for Water Quality*". vol. 1. USEPA, Washington, D.C., 1973.
- U.S. Environmental Protection Agency. "*Proposed Water Quality Information*". vol. 11. USEPA, Washington, D.C., 1973.
- U.S. Environmental Protection Agency. *Processes, Procedures and Methods to Control Pollution Resulting from All Construction Activity*". USGPO, Washington, D.C., 1973.
- U.S. Environmental Protection Agency. "*Groundwater Pollution from Subsurface Excavations*". Washington, D.C., 1973.
- U.S. Environmental Protection Agency. *Methods for Identifying and Evaluating the Nature and Extent of Non-Point Source of Pollutants*". USGPO, Washington, D.C., 1973.
- U.S. Environmental Protection Agency. *Estimating Nutrient Loadings of Lakes from Non-Point Sources*". Washington, D.C., 1974.
- U.S. Environmental Protection Agency. "*Methods for Identifying and Evaluating the Nature and Extent of Non-Point Sources of Pollution*". Washington, D.C., in press.
- U.S. EPA. "*Handbook for Monitoring Industrial Waste Water*". Technology Transfer. Washington, D.C., 1973.
- U.S. EPA. "*Biological Field and Laboratory Methods Manual*". EPA- 670/4-73-001, Washington D.C., 1973.
- U.S. Soil Conservation Service. SCS National Engineering Handbook, section 4. Hydrology. Washington, D.C., 1969.
- U.S. Soil Conservation Service. SCS National Engineering Handbook, section 5. Hidrology, including supplement A. USGPO, Washington, D.C., 1972.

### Suelos

- American Society for Testing & Materials. "*Field Testing of Soil*". ASTM Pub. n.º 322. 1962.
- BASILE, R. M.: "*A Geography of Soils*". Brown, Dubuque, Iowa, 1971.
- BLACK, C. A.: "*Methods of Soil Analysis*". University of Wisconsin Press. Madison, Wisconsin, 1965.
- BLACK, C. A.: "*Soil-Plant Relationships*". 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 1968.
- BRADY, N. C.: "*The nature and Properties of Soils*". Macmillan, New York, 8th ed., 1974.
- BRIDGES, E. M.: "*World Soils*". Cambridge Univ. Press., 1970.

- BUNTIN, B. T.: *"The Geography of Soil"*. Aldine, Chicago, 1967.
- EYRE, S. R.: *"Vegetation and Soils: A World Picture"*. Arnold, London, 2nd ed., 1968.
- GERASIMOR, I. P., y GLAZOVSKAYA, M. A.: *"Fundamentals of Soil Science and Soil Geography"*. Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1965.
- HOUGH: *"Basic Soils Engineering"*. The Ronal Press Co., New York, 1969.
- HUNT, C. B.: *"Geology of Soils: Their Evolution, Classification and Uses"*. Freeman, San Francisco, 1972.
- KELLOGG, C. E.: *"Soil Interpretation in the Soil Survey"*. U.S. Department of Agriculture Soil Cons. Serv., 1961.
- PAPADAKIS, J.: *"Soils of the World"*. Elsevier, Amsterdam, 1969.
- Soil Survey Staff. *"Soil Classification A Comprehensive System 7th Approximation"*. U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1960.
- SOWERS, G. B., y SOWERS, G. F.: *"Introductory Soil Mechanics and Foundations"*. 2nd ed. Collier Macmillan, New York, 1961.
- TERZAGHI, y PECK, R. B.: *"Soil Mechanics in Engineering Practice"*. Wiley, New York, 1967.
- THOMPSON, L. M., y TOCH, F. R.: *"Soils and Soil Fertility"*. McGrawHill, New York, 1973.
- U.S. Department of Agriculture. SCS. *"Soil Erosion"*. Agriculture Information Bulletin n.º 260. USGPO, Washington, D.C., (stock n.º 1971 0-446-851).
- U.S. Soil Conservation Service. *"Engineering Field Manual for Conservation Practices"*. USGPO, Washington, D.C. 1969.

### Ecología

- BORMANN, F., y LIKENS, G.: *"The Nutrient Cycles of an Ecosystem"*. Scientific American. n.º 223, pp. 92-101., 1970.
- BOWEN, H. J. M.: *"Trace Elements in Biochemistry"*. Academic Press, Londres, 1966.
- BROWN, G.W.: *"Desert Biology: Special Topics on the Physical and Biological Aspects of Arid Regions"*. Academic Press, New York, 1968.
- CASSIE, R. M.: *"A Computer Programme for Multivariate Statistical Analysis of Ecological Data"*. J. Exp. mar. Biol. Ecol. 10: 20y-241., 1972.
- COLLIER, B. D., COX, G. W., JOHNSON, A. W., y MILLER, P. C.: *"Dynamic Ecology"*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1973.
- COLINVAUX, P. A.: *"Introduction to Ecology"*. Wiley, New York, 1973.
- DUVIGNEAUD, P.: (ed) *"Productivité de systèmes écoforestiers"*. Symposium de Bruxelles 1969 UNESCO, París, 1971.
- EPSTEIN, E.: *"Mineral Nutrition of Plants"*. Principles and Perspectives. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1972.
- EDMONDSON, W. T., y WINDBERG, G. G.: (eds) *"A Manual on Methods for the Assessment*

- of Secondary Productivity in Fresh Waters"*. IBP Handbook n.º 17. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1971.
- EYRE, R. S.: (ed) *"World Vegetation Types"*. Columbia Univ., New York, 1971.
- GREEN, R. H.: *"Sampling Design and Statistical Methods for Environmental Biologists"*. John Wiley and Sons, Chichester, Inglaterra, 1979.
- GREIG - SMITH, P.: *"Quantitative Plant Ecology"*. Butterworths, Londres, 1964.
- HELLAWELL, J. M.: *"Biological Surveillance of Rivers"*. Water Research Centre, Stevenage, Inglaterra, 1978.
- HELLIWELL, D. R.: *"Valuation of Wildlife Resources"*. Reg. Stud: 3: 31-7, 1969.
- HOLDRIDGE, L. R.: *"Life Zone Ecology"*. (Rev. ed.) Tropical Science Center, San Jose, 1967.
- HOWARD, J. A.: *"Aerial Photo-Ecology"*. Faber, Londres, 1970.
- HUTCHINSON, G. E.: *"A Treatise on Limnology"*. vol. II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplanteton. Wiley, Nueva York, 1967.
- HYNES, H. B. N.: *"The Ecology of Running Waters"*. University of Toronto Press, 1972.
- JOHNSON, P. L.: *"Remote Sensing in Ecology"*. University of Georgia Press, Atenas, Georgia, 1969.
- KAJEK, Z., HILLBRIGHT - ILKOWSKA, A.: *"Productivity Problems of Freshwaters"*. IBP-UNESCO Symposium, Kazimierz Dolny, Polonia, 1970. Warszawa-Krakow.
- KERSHAW, K. A.: *"Quantitative and Dynamic Plant Ecology"*. 2.ª edición. Edward Arnold, Londres, 1975.
- KREBS, C. J.: *"Ecology: The Experimental Analysis of Distribution and Abundance"*. 2.ª edición. Harper International Edition, 1978.
- MACKERETH, F. J. H.: *"Some methods of water analysis for limnologists"*. Sci. Publs. Freshwat. Ass. 21: 1-71, 1963.
- MCNAUGHTON, S. J., y WOLF, L. L.: *"General Ecology"*. Holt, Rinehart and Winston, Nueva York, 1973.

### Ecosistemas sensibles

- BARNES, R. S. T.: (ed) *"The Coastline"*. A Contribution to our Understanding of its Ecology and Physiography in Relation to Land-Use and Management and the Pressures to which it is Subject. John Wiley and Sons, Londres, 1977.
- BRAHTZ, J. F. P.: (ed) *"Coastal Zone Management: Multiple Use with Conservation"*. Wiley, Nueva York y Londres, 1972.
- CHAPMAN, V. J.: *"Salt Marshes and Salt Deserts of the World"*. Hill, Londres, 1960.
- CHAPMAN, V. J.: *"Coastal Vegetation"*. Pergamon, Oxford y Londres, 1964.
- CLARK, J.: *"Coastal Ecosystems. Ecological Considerations for Management of the Coastal Zone"*. The Conservation Foundation, Washington, D.C., 1974.

- COLE, H. A.: (ed) *"The Assessment of Sublethal Effects of Pollutants in the Sea"*. A Roy. Soc. Discussion. 230 pp. The Royal Society, Londres, 1979.
- FLINTOFF, F.: *"Management of Solid Wastes in Developing Countries"*. WHO Regional Publications, S.E. Asia Series, n.º 1. 243 pp., 1976.
- HITE, J. C., y STEPP, J. M.: (eds) *"Coastal Zone Resource Management"*. Praeger, New York, 1971.
- KOVDA, V. A.: *"Biogeochemical Cycles"*. Report of a SCOPE meeting on biogeochemical cycles, Moscú, noviembre 1974. SCOPE, París., 1975.
- LAUFF, G. H.: *"Estuaries"*. Amer. Assoc. Advancement Sci. Publ. 83, 1967.
- LEHMANN, E. J.: *"Water Pollution in Estuaries and Coastal Zones"*. A Bibliography with Abstracts. NTIS, Springfield, Va, 1974.
- LITTON, R. B. Jr. et al.: *"Water and Landscape"*. Water Information Center, Port Washington, Nueva York, 1974.
- MCCHESENEY, F.: *"The Wetlands Issue and Industrial Development AIDC"*. Journal: 13 (4): 7-15, 1978.
- NAYLOR, J. A., ROWLAND, C. D., YOUNG, C. P., y BARBER, C.: *"The Investigation of Landfill Sites"*. Tech Report 91. Water Research Centre, Stevenage, Inglaterra, 1978.
- PERKINS, E. J.: *"The Biology of Estuaries and Coastal Waters Academic Press"*. Londres y New York, 1974.
- PLEMANE, A., y SCHLIEPER, C.: *"Biology of Brackish Water"*. Die Binnengewasser, vol. 25. Wiley, Nueva York, 1971.
- RANWELL, D. S.: *"Ecology of Salt Marshes and Sand Dunes"*. Chapman and Hall, Londres, 1972.
- RAYMONT, J. E. G.: *"The Production of Marine Plankton"*. Advances in Ecological Research 3: 117-205. 1966.
- RHEY, G. A.: *"Pattern of Production in Marine Ecosystems"*. In: Ecosystem Structure and Function, ed. J. Wiens. Oregon State University Annual Biol. Colloq. 31: 91-112. 1972.
- STEELE, J.H.: (ed) *"Marine Food Chains"*. Univ. of California, Berkeley. 1970.
- STRICKLAND, J. D. H., y PARSONS, T. R.: *"A Practical Handbook of Seawater Analysis"*. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin n.º 167, 3.ª edición. Ottawa, 1968.
- U. K. Department of the Environment. *"Cooperative Programme of Research on the Behaviour of Hazardous Wastes in Landfill Sites"*. Final Report of the Policy Review Committee. H.M.S.O., Londres, 1978.
- U. S. Environmental Protection Agency. *"Pollution of Subsurface Water by Sanitary Landfills"*. USGPO, Washington, D.C., 1971.

### Ruido y vibraciones

- BERANCK, L. L.: *"Noise and Vibration Control"*. McGraw-Hill, Nueva York, 1971.

- BROWN, L. M.: *"Effect of Construction Equipment Vibration on Nearby Buildings. Environmental Considerations in Planning, Design and Construction"*. Special Report 138. Highway Research Board, Washington, D.C., 1973.
- CAMPBELL, J. M., y WILLIS, R. R.: *"A Practical Approach to Engineering-out Noise, In: Engineering Aspects of Pollution Control in the Metal Industries"*. The Metals Society, Londres, 1975.
- CRANDELL, F. J.: *"Ground Vibration Due to Blasting and its Effects on Structures"*. Journal of Boston Soc. of Civil Engineers, 36 n.º 2. 1949.
- DUVALL, W. I., y FOGELSON, D. E.: *"Review of Criteria for Estimating Damage to Residences from Blasting Vibrations"*. U. S. Bureau of Mines. Report 5968. 1962.
- HARRIS, C. M.: *"Handbook of Noise Control"*. McGraw-Hill, Nueva York, 1957.
- HARRIS, W. L., y CREDE, C. E.: *"Shock and Vibration Handbook"*. vol. 3. McGraw-Hill, Nueva York, 1961.
- MAY, D. N.: (ed) *"Handbook on Noise Measurement"*. Van Nostrand Reinhold, Nueva York, 1978.
- National Academy of Science, Working Group, 69, Committee on Hearing, Bioacoustics and Biomechanics. *"Guidelines for Preparing Environmental Impact Statements on Noise"*. Washington, D.C., 1977.
- PARKIN, P. H., y HUMPHREYS, H. R.: *"Acoustics, Noise and Buildings"*. Faber and Faber, Londres.
- PETERSON, A. P. G., y GROSS, E. E. Jr.: *"Handbook of Noise Measurement"*. General Radio Company, Concord, Mass, 1972.
- RICHARD, S. E. J., et al.: *"Vibrations of Soil and Foundations"*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1970.
- STEFFENS, R. J.: *"Some Aspects of Structural Vibration. Vibration in Civil Engineering"*. Proceedings of a Symposium Organized through the British National Section of the International Society for Earthquake Engineering. 1966.
- U. S. Department of Housing and Urban Development. *"Noise Assessment Guidelines"*. USGPO, Washington, D. C. (USGPO Stock n.º 2300-1194). 1971.
- U. S. Department of Housing and Urban Development. *"Noise Assessment Guidelines - Technical Background"*. USGPO, Washington, D. C. (USGPO Stock n.º 2300 - 0190). 1972.
- U. S. Environmental Protection Agency. *"Noise from Construction Equipment and Operations, Building Equipment, and Home Appliances"*. USGPO, Washington, D.C., 1971.
- U. S. Environmental Protection Agency. *"Effects of Noise on Wildlife and Other Animals"*. Washington, D.C., 1971.
- WAUGH, R.: *"dBA Attenuation of Ear Protectors"*. Journal of the Acoustical Society of America, 53 (2). 1973.
- WHO. Noise (Environmental Health Criteria, 12) Ginebra, 1980.

### Paisaje

- DUNN, M. C.: "*Landscape Evaluation Techniques: An Appraisal and Review of the Literature*". Birmingham Centre for Urban and Regional Studies, Birmingham, U.K., 1974.
- HEBBLETHWAITE, R. L.: "*Landscape Assessment and Classification Techniques*". edited by D. Lovejoy. Land Use and Landscap Planning, pp. 17-50, Leonard Hill Books, Aylesbury, U.K. 1973.
- JONES, G. R., y al.: "*A Method for the Quantification of Aesthetic Values for Environmental Decision Making*". Nuclear Technology, 25: 682 - 713. 1975.
- KNUDSON, D. M.: "*A System for Evaluating Scenic Rivers*". Water Resources Bulletin: 12 (2): 281 - 289. 1976.
- LEOPOLD, L. B., y MAREHAND, M. O.: "*On the Quantitative Inventory of the Riverscape*". Water Resources Research, 4 (4): 709 - 717. 1968.
- LIDDLE, M. J.: "*An Approach to Objective Collection and Analysis of Data for Comparison of Landscape Character*". Regional Studies, 10: 173 - 181. Great Britain, 1976.
- LITTON, R. B., TETLOW, R. J., SORENSEN, J., y BEATTY, R. A.: "*Water and Landscape*". Water Information Center, Port Washington, Nueva York, 1974.
- LOVEJOY, D.: "*Land-Use and Landscape Planning*". International Textbooks. Aylesbury, U.K. 1973.
- PENNING-ROWSELL, E. C., y HARDY, D. I.: "*Alternative Approaches to Landscape Appraisal and Evaluation: Middlesex Polytechnic Planning Research Group, Report n.º 1, 11*". Londres, 1973.
- ROBINSON, D. G., WAGER, J. F., LAURIE, K., TRAILL, A. L.: "*Landscape Evaluation Research Project 1970-1975*". The University of Manchester, U.K., 1976.
- TANDY, C.: "*Handbook of Urban Landscape*". Architectural Press, Londres, 1972.
- TANDY, C.: "*Landscape of Industry*". Leonard Hill, Londres, 1975.
- ZUBE, E. H., BRUSH, R. O., y FABOS, J. G.: "*Landscape Assessment*". Dowden, Hutchinson and Ross, Londres

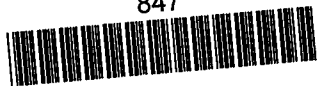
### Aspectos socioeconómicos

- COCHRANE, G.: "*The Cultural Appraisal of Development Projects*". Nueva York, Praeger Publishers. 1979.
- COOPER, C. M., y OTTO, R.: "*Social and Economic Evaluation of Environmental Impacts in Third World Countries. A Methodological Discussion*". Science Policy Research Unit, University of Sussex, U.K. (currently under revision). 1977.
- EPSTEIN, A. I.: "*The Craft of Social Anthropology*". Londres. Tavistock, 1967.
- FESTINGER, L., y KATZ, D.: "*Research Methods in the Behavioural Sciences*". New York. Dryden Press, 1953.

- FINSTERBUSH, K., y WOLF, C. P.: "*The Methodology of Social Impact Assessment*". Dowden, Hutchinson & Ross Publishing Co., Stroudsburg, P.A. (us), 1977.
- FITZSIMMONS, S. J., STUART, L. I., y WOLF, C. P.: "*Social Assessment Manual A Guide to the Preparation of the Social Well-Being Account*". 1975.
- Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- HAUSER, P.: (ed) "*Manuel de la recherche sociale dans les zones urbaines*". Paris, U.N.E.S.C.O., 1967.
- HETMAN, F.: "*Société et la maîtrise de la technologie*". Paris, OCDE, 1973.
- HOLLING, C. S.: "*Adaptive Environmental Assessment and Management*". International Institute for Applied Systems Analysis. Wiley-Interscience, Chichester (gb), 1978.
- INGERSOLL, J.: "*Social Analysis of Development Projects. A Suggested Approach for Social Soundness Analysis*". Washington, D.C. United States Agency for International Development. 1977.
- MCEVOY, J., y DIETZ, T.: (eds) "*Handbook for Environmental Planning: the Social Consequences of Environmental Change*". Wiley-Interscience, Chichester. (gb). 1977.
- MCGRANAHAN, D. V., RICHARD-PROUST, C., SOVANI, N. V., y SUBRAMANIAN, M.: "*Contents and Measurement of Socio-Economic Development: an Empirical Enquiry*". Ginebra, United Nations Research Institute for Social Development. 1970.
- MARSTRAND, P. K.: "*Ecological and Social Evaluation of Industrial Development*" in Environmental Conservation. vol. 3 n.º 4. Lausanne, Elsevier (ch), 1976.
- MOSER, C. A., y KALTON, G.: "*Survey Methods in Social Investigation*". Londres, Heinemann, 1971.
- OPPENHEIM, A. M.: "*Questionnaire Design and Attitude Measurement*". Londres, Heinemann, 1966.
- PEARCE, D. W.: "*Environmental Economics*". Londres, Longman, 1976.
- PERRETT, H. E.: "*Social Analysis and Project Design in the Agency for International Development. Review, Recommendations, Guidelines, Final Report*". U.S.A.I.D.. 1978.
- Project Appraisal for Development Control Research Team, Aberdeen University. "*Assessment of Major Industrial Applications: a Manual*". Londres, H.M.S.O., 1976.
- SCOTT, W., with ARGALIAS, H., y MCGRANAHAN, D. V.: "*The Measurement of Real Progress at the Local Level. Examples from the Literature*". Ginebra, United Nations Research Institute for Social Development, 1973.
- SCOTT, W.: "*Measurement and Analysis of Progress at the Local Level. vol. 1. An Overview*". Ginebra, United Nations Research Institute for Social Development, 1978.
- U. K. Ministry of Overseas Development. "*A Guide to the Economic Appraisal of Projects in Developing Countries*". Londres, H.M.S.O., 1977.
- United States Agency for International Development. "*Environmental Assessment Guidelines Manual*". U.S. A.I.D.
- VLACHOS, E., y al.: "*Social Impact Assessment: An Overview*". U. S. Army Engineer Institute for Water Resources, Fort Belvoir, Virginia, 1975.



MAP 836.2-EST-EVA  
847



MAPFRE ESTUDIOS



012994



EDITORIAL  
**MAPFRE**