

SEGURIDAD y Medio Ambiente

Año 34 N° 133 Primer trimestre 2014

FUNDACIÓN MAPFRE



Incidencia de la contaminación atmosférica en el asma

- El impacto de las tormentas geomagnéticas
- Protección radiológica en instalaciones de láseres intensos
- Prevención de incendios en edificios con equipos fotovoltaicos

CuidadoSOS: EDUCACIÓN PARA PREVENIR ACCIDENTES INFANTILES

Dirigido a:

- **Escolares** de primaria, en un período en el que se asientan los fundamentos de aprendizaje y los hábitos de convivencia, trabajo y respeto a los demás.
- **Familias**, responsables de velar por la protección de los niños y de adoptar las medidas adecuadas para evitar accidentes en el hogar.
- **Profesionales** de la educación, como actores principales en la transmisión de estos conceptos y valores a los escolares.

Para más información:
www.cuidadosos.com

FUNDACIÓN MAPFRE

www.fundacionmapfre.org





Illustration Stock

SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE

Revista de FUNDACIÓN MAPFRE
Antigua revista MAPFRE SEGURIDAD

Dirección, redacción, publicidad y edición:

FUNDACIÓN MAPFRE

Área de Salud y Prevención

Paseo de Recoletos, 23

28004 Madrid

Tel.: 915 812 603. Fax: 915 816 070

www.seguridadymedioambiente.com

Director:

Antonio Guzmán Córdoba

Coordinador:

Óscar Picazo Ruiz

Consejo de Redacción:

José Manuel Álvarez Zárate,

Fernando Camarero Rodríguez,

Antonio Cirujano González,

Luz García Cajete,

Eduardo García Mozos,

Ignacio Juárez Pérez,

Julián Labrador San Romualdo,

Raquel Manjón Cembellín,

Miguel Ángel Martín Sánchez,

Beatriz Ramos Alonso,

Marisol Revilla Guzmán,

Juan Satrústegui Marcos,

Pedro Soria García-Ramos.

Diseño y realización:

Consultores de Comunicación

y Marketing del Siglo XXI S.L. COMARK XXI

direccion@comarkxxi.com

Imprime:

C.G.A.

Fotomecánica:

Lumimar

Publicación Trimestral: 4 números al año

Depósito legal: TO-0163-2008

ISSN: 1888-5438



FUNDACIÓN MAPFRE no se hace responsable del contenido de ningún artículo, y el hecho de que patrocine su difusión no implica conformidad con los trabajos expuestos en estas páginas. Está autorizada la reproducción de artículos y noticias, previa notificación a FUNDACIÓN MAPFRE y citando su procedencia.

Calidad del aire y salud

El artículo de portada en este número es un trabajo de investigación que estudia la correlación entre episodios de contaminación atmosférica en ciudades y la incidencia de asma en la población.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la contaminación atmosférica urbana causó en 2012 un total de siete millones de muertos, uno de cada ocho del total mundial. Esta organización considera la contaminación atmosférica como el riesgo ambiental más importante para la salud.

Las ciudades están creciendo a gran velocidad, ya que más del 90% del incremento poblacional en países en desarrollo tiene lugar en las urbes. Para el año 2030 se estima que el 60% de la población mundial vivirá en áreas urbanas. En la actualidad más de 250 ciudades superan el millón de habitantes, e incluso algunas, como São Paulo o México DF, los 20 millones.

Recientemente hemos conocido casos como los de París o Londres, donde han saltado las alarmas debido a los altos niveles de contaminación, lo que ha llevado a la capital francesa a restringir la circulación del tráfico rodado en días alternos, y a que en Londres se estime que se han producido por esta causa más de un millón de ataques de asma.

Hace unas semanas presentamos el informe *Salud y sostenibilidad. Efectos de*

la calidad del aire urbano, en el que se detallan las causas y efectos de la polución sobre la salud y las posibles medidas a adoptar. Este informe está disponible para su descarga en: www.fundacionmapfre.org

En otro orden de cosas, pero también en relación a las enfermedades no transmisibles, consideradas como la epidemia del siglo XXI, FUNDACIÓN MAPFRE organizó en el marco de la feria SICUR14 una jornada sobre promoción de la salud en la empresa, en la que se trataron aspectos como la influencia de la alimentación, el descanso y la actividad física sobre el bienestar del trabajador, y por ende, de las organizaciones y de la sociedad.

Además de contar con expertos en cada una de las citadas materias, directivos de recursos humanos de grandes empresas dieron su visión sobre el presente y el futuro de la empresa saludable. Esta jornada reunió a cerca de 200 profesionales.

Desde el Área de Salud y Prevención de FUNDACIÓN MAPFRE nuestro objetivo principal es mejorar la salud y la calidad de vida de las personas. Es por ello que queremos difundir la idea de la salud como un concepto global, que no termina en el lugar de trabajo, y que se ve afectado por el entorno, tanto laboral como social, y por los propios hábitos de vida. ♦

La OMS considera la contaminación como uno de los riesgos más importantes para la salud

SEGURIDAD y Medio Ambiente



MEDIO AMBIENTE

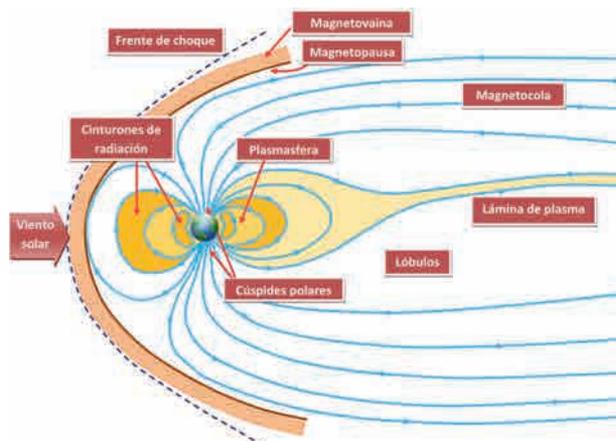
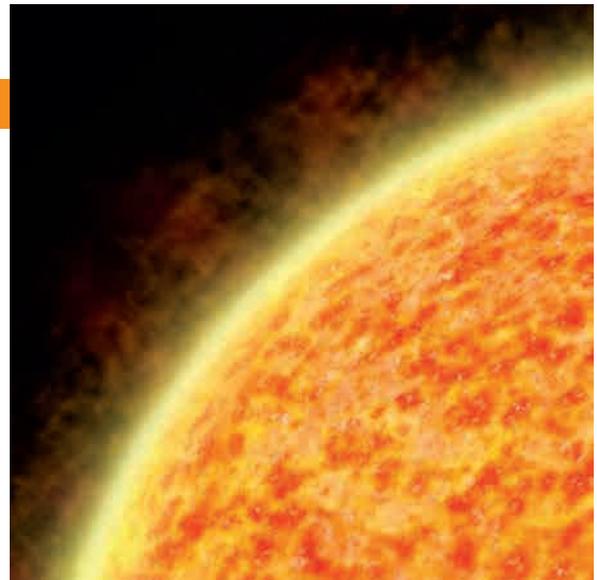
6 Contaminación atmosférica e incidencia en el asma

SALUD. Análisis comparativo de la contaminación atmosférica y las visitas a urgencias causadas por asma.

RIESGOS NATURALES

18 Impacto de las tormentas geomagnéticas

METEOROLOGÍA ESPACIAL. Estudio del fenómeno de las tormentas geomagnéticas y sus efectos en el ámbito de las tecnologías e infraestructuras en España y Portugal, y pautas de actuación para afrontarlo.



← Estructura de la magnetosfera en equilibrio con el viento solar.

HIGIENE INDUSTRIAL

36 Protección radiológica ante láseres intensos

EXPOSICIÓN A RADIACIONES. Análisis de los protocolos necesarios para la aplicación de la normativa sobre radiación ionizante del personal expuesto en el Centro de Láseres Pulsados Ultracortos (CLPU).



PREVENCIÓN DE INCENDIOS

48 Prevención de incendios en edificios con sistemas fotovoltaicos



PREVISIÓN ANTE EL FUEGO. Estudio del estado del arte de la seguridad de los sistemas fotovoltaicos para los usuarios de los edificios y para los equipos de extinción de incendios.

NOTICIAS

61 Área de Salud y Prevención

Las empresas, actores clave para mejorar la salud de la sociedad.

La Fundación concede sus Premios Sociales 2013.



Bienvenida a los investigadores becados por FUNDACIÓN MAPFRE.

Los accidentes de las personas mayores, a debate en la Real Academia Nacional de Medicina.

Más de 110.000 personas participan en la VIII Semana de Prevención de Incendios.

La campaña Pon Salud en tu Entorno fomenta el uso eficiente de la energía en Granada.

ControlaTIC: prevención de la adicción a las nuevas tecnologías.

Educa tu Mundo supera las 380.000 visitas en 2013.

Recibimos el Premio Fundación Fuego 2013.

6.500 niños cántabros aprenden a evitar accidentes.

Colaboración con el Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores (INAPAM) y la Cruz Roja Mexicana.

NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

70 BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. Selección de legislación publicada sobre seguridad laboral y medio ambiente en España.

70 DIARIO OFICIAL DE LA COMUNIDAD. La normativa sobre seguridad y medio ambiente en la Comunidad Europea.

73 NORMAS EA, UNE, CEI EDITADAS. Normativa de sectores profesionales.

AGENDA

74 CALENDARIO DE CONGRESOS Y SIMPOSIOS.



Latinstock

Análisis comparativo de la **CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA** y las visitas a urgencias por asma

Por **A. SANTURTÚN**. Licenciada en Medicina. PDI (Universidad de Cantabria). Facultad de Medicina. Departamento de Fisiología y Farmacología. Ud. Medicina Legal. (ana.santurtun@unican.es).

J.C GONZÁLEZ HIDALGO. Doctor en Geografía. Catedrático (Universidad de Zaragoza). **M.T. ZARRABEITIA**. Doctora en Medicina. Profesora Titular (Universidad de Cantabria).



El estudio compara las emisiones de contaminantes a la atmósfera en las ciudades de Zaragoza (arriba) y Santander (derecha).



Este trabajo estudia y compara los patrones temporales y los niveles de tres contaminantes urbanos (NO_2 , O_3 y PM_{10}) durante ocho años (2003-2010) en dos ciudades españolas (Santander y Zaragoza). Los resultados muestran que el material particulado de diámetro inferior a 10 micras es el único de los tres contaminantes analizados que incumplió la normativa europea. Una vez evaluado el comportamiento de los contaminantes, se buscaron mediante un modelo de regresión de Poisson relaciones significativas entre los niveles de contaminación y las visitas a urgencias por asma. Los resultados fueron distintos según el contaminante y el tiempo pasado desde la inmisión: las visitas a urgencias por asma en Santander se asociaron inversamente con el nivel de NO_2 y PM_{10} respirado el mismo día de la crisis, y positivamente con el nivel de O_3 . En Zaragoza la asociación fue la misma, pero no se dio hasta un día después de la inmisión del contaminante.

Las características de la atmósfera han ido cambiando a lo largo de la historia, sobre todo desde los inicios de la Revolución Industrial en el siglo XVIII, y no solo ha variado su composición de manera evidente, sino que también su «calidad» se ha degradado en lo que se denomina de modo genérico «contaminación».

El análisis de la contaminación del aire presenta un doble enfoque, según corresponda a la contaminación de interiores (viviendas, edificios públicos, etc.) o a la polución ambiental exterior. La contaminación de interiores es muy relevante y afecta en gran medida a la salud humana, dado que actualmente en las zonas urbanas se pasa más del 80% del tiempo en lugares cerrados. En el mundo occidental las condiciones ambientales interiores óptimas se consiguen a expensas del aumento en el con-

sumo energético. Los máximos niveles de este consumo se alcanzan en las épocas de invierno y verano, debido principalmente a la climatización. Los costos energéticos para el mantenimiento de condiciones óptimas en el espacio interior significan mayor contaminación para el ambiente y el aire exterior; por ello, es necesario un manejo racional y equilibrado entre las exigencias y el alcance del daño ⁽¹⁾.

Pero, sin duda, es la contaminación exterior la que ha recibido mayor atención por sus efectos generalizados sobre la naturaleza, la salud y la sociedad en general. La contaminación corre pareja al crecimiento económico, la mayor parte de las emisiones proceden del consumo de combustibles fósiles (tanto para generar electricidad como relacionadas con el transporte y la actividad industrial), agravándose el problema por la urbanización en determinadas áreas donde la población se ha concentrado ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾. La tendencia hacia la urbanización y el crecimiento de la población urbana se verifica en todo el mundo. En la mayoría de los países es consecuencia y estímulo del desarrollo económico (basado fundamentalmente en la industrialización);

Entre 800.000 y 2 millones de muertes prematuras en el mundo cada año son atribuidas a la exposición al aire contaminado de las zonas urbanas y a la contaminación interior

por ello, es esperable que los efectos de la contaminación sobre la población de los países en vías de desarrollo aumenten en el futuro próximo.

Numerosos estudios han ido mostrando el progresivo deterioro de la calidad del aire. Massie y col. ⁽⁵⁾ presentaron la tendencia de los contaminantes del aire asociada al aumento de densidad demográfica en las ciudades y al desarrollo industrial. Otra demostración de este empeoramiento se observa en China. Este país, debido a su rápida expansión industrial y su desarrollo económico, se ha enfrentado a un gran aumento de población en las áreas urbanas y al surgimiento de megaciudades desde la década de 1990. Esto ha llevado a

un enorme incremento en el consumo de energía y en las emisiones de contaminantes atmosféricos, lo que ha provocado que el número de días con mala calidad del aire en las principales ciudades tenga una evidente tendencia positiva ⁽⁶⁾. También se han realizado estudios centrados en el análisis de la concentración de contaminantes aislados; en 1984, Khalil y Rasmussen ⁽⁷⁾ ya describían el aumento del monóxido de carbono, y en 1990 explicaban que buena parte de esta tendencia creciente se podía achacar a las actividades antropogénicas ⁽⁸⁾.

En la actualidad, la contaminación del aire se ha convertido en uno de los principales problemas medioambientales a nivel mundial, está presente en todas las áreas del planeta y tiene una grave repercusión tanto en la salud humana y los sistemas naturales, como en la economía.

La relación entre morbilidad-mortalidad y calidad del aire ha sido foco de estudio durante las últimas décadas; la bibliografía recoge datos que oscilan entre 800.000 y dos millones de muertes prematuras cada año atribuidas a la exposición al aire contaminado de las zonas ur-



El desarrollo de China ha disparado las emisiones de contaminantes atmosféricos y, en consecuencia, la mala calidad del aire que respiran los ciudadanos en las grandes urbes.



banas y a la contaminación interior ⁽⁹⁾, y más de la mitad de estas muertes ocurren en los países en desarrollo ⁽¹⁰⁾.

Hay trabajos que analizan la asociación entre niveles elevados de los contaminantes atmosféricos y alteraciones en prácticamente todos los sistemas del organismo (hematológico, inmunológico, neurológico, reproductivo, dermatológico); sin embargo, son destacables los efectos a nivel del aparato respiratorio y cardiovascular ^{(11),(12)}. Además, la relación entre la calidad del aire y la salud no es un problema que se limite al propio individuo, sino que tiene consecuencias sociales y económicas: crecimiento del absentismo, pérdida de productividad y aumento de gastos médicos ^{(13) (14)}.

En varios estudios se han examinado los efectos a corto plazo de la contaminación del aire, que han revelado una mayor incidencia de mortalidad, así como visitas a urgencias y hospitalizaciones por enfermedades cardiovasculares y respiratorias asociadas a niveles elevados en los contaminantes. También existen estudios longitudinales que muestran los efectos perjudiciales en la salud de la población a largo plazo causados principalmente por la exposición a material particulado ⁽¹⁵⁾.

Los valores de ozono experimentan un ciclo anual con máximos entre la primavera y el verano, y mínimos en invierno

Las políticas para la reducción de la contaminación del aire se consideran necesarias con el fin de proteger y mejorar la salud individual y comunitaria. Apoyando esta idea se han realizado trabajos en distintas zonas del planeta que ponen de manifiesto cómo una reducción en la contaminación atmosférica está asociada a una mejora en la salud de la población ^{(16),(17)}.

Metodología

Datos de calidad del aire: obtención y tratamiento

En el presente estudio se han analizado los datos de calidad del aire de dos estaciones de fondo urbano: Renovales, en el centro de Zaragoza, y Tetuán, en Santander. Cuentan con series de datos completas (>90%) y su localización es próxima al hospital de referencia sobre

el que se han analizado los episodios de enfermedad.

Se estudiaron tres contaminantes atmosféricos: dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y material particulado de tamaño inferior a 10 micras de diámetro (PM₁₀).

Los datos fueron proporcionados por la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria y la Agencia de Medio Ambiente y Sostenibilidad del Ayuntamiento de Zaragoza. Los datos originales son horarios recogidos desde el 1 de enero del 2003 al 31 de diciembre del 2010; estos fueron validados, normalizados e incorporados en una base de datos a través de una serie de procesos de extracción, transformación y carga (ETL) para su visualización en un sistema de representación de datos OLAP (*OnLine Analytical Processing*) en formato de tablas pivotantes.

La representación de los datos a través de OLAP permite tanto la elaboración de series como de calendarios.

Inicialmente, con los datos horarios se calculó el promedio diario de cada contaminante y a partir de los promedios diarios se realizaron también series anuales (promedio de todos los datos de cada año). Posteriormente se elaboraron los calendarios semanales ⁽¹⁸⁾.

Datos de atención hospitalaria: obtención y tratamiento

Los datos empleados para el análisis de las hospitalizaciones respiratorias proceden de las visitas a urgencias en el Hospital Universitario Marqués de Valdecilla, centro de referencia en la ciudad de Santander, y en el Hospital Universitario Miguel Servet, de referencia en la ciudad de Zaragoza. En el estudio se han incluido tanto pacientes que finalmente quedaron hospitalizados en alguno de esos centros como aquellos que fueron atendidos en urgencias y no precisaron ingreso hospitalario.



El análisis de hospitalizaciones respiratorias se realizó con datos procedentes de los dos hospitales de referencia de ambas ciudades: Universitario Marqués de Valdecilla en Santander (dcha.) y Universitario Miguel Servet en Zaragoza (arriba).



La patología estudiada es el asma, seleccionada por la influencia de los contaminantes en la descompensación de la misma, según recoge la bibliografía.

Modelo de análisis temporal mediante regresión de Poisson

Para el estudio de las relaciones entre los contaminantes y el asma se construyó un modelo explicativo de la evolución temporal de las visitas a urgencias, con la intención de cuantificar los efectos de los factores de riesgo (exposición a contaminantes atmosféricos: NO₂, O₃ y PM₁₀).

El modelo elegido es el de regresión de Poisson (por la distribución de los datos), para cada ciudad se construye como:

$$\log E(Y) = \alpha + \gamma C + \sum_i \beta_i X_i$$

donde $E(Y)$ es el número esperado de visitas a urgencias diario; α es la constante del modelo; γ el efecto de cada contaminante o de sus retardos; C es el contaminante, y β el efecto de cada una de las covariables X a controlar.

Como factores de confusión se consideraron variables meteorológicas (promedios diarios de temperatura media,

máxima y mínima, radiación solar, presión máxima y mínima, y precipitación), datos que procedieron de AEMet. Asimismo, se evaluaron posibles tendencias y ciclos estacionales, efectos de las infecciones respiratorias (posibles epidemias de gripe) y cambios en el tamaño de la población a lo largo de los años de estudio. El modelo tiene en cuenta además los previsible periodos de latencia en el efecto de las variables de confusión sobre las enfermedades estudiadas (utilizando retardos de hasta tres días en las variables explicativas). Además, y debido a que el control no es perfecto, se opta por estimar un modelo de Poisson autorregresivo (introduciendo como variables explicativas hasta siete días de retardos de las urgencias hospitalarias) corrigiendo la autocorrelación residual ⁽¹⁹⁾.

Para la creación del modelo de regresión basal se incluyeron aquellas covariables que tenían efecto para una $p < 0,1$. Al introducir las variables de contaminantes en el modelo final, se restringió su inclusión para aquellas que tenían efecto con $p < 0,05$.

Una vez obtenido el modelo final para las visitas en cada ciudad, a partir de los coeficientes de regresión de Poisson se calcularon las Tasas Relativas de In-

cidencia (TRI), que indican qué efecto tienen sobre la variable dependiente (asma) cada unidad de aumento en la variable independiente (contaminante).

Para la realización de este análisis se empleó como soporte estadístico el programa informático SPSS en su versión 21.

Resultados y discusión

Variaciones diarias de los contaminantes y niveles respecto a la normativa europea

Dióxido de nitrógeno (NO₂)

La evolución diaria de la concentración de NO₂ a lo largo de los ocho años de estudio (2003-2010) aparece reflejada en la Figura 1. Como se puede apreciar, los valores diarios de NO₂ siguen un ciclo anual con máximos invernales y mínimos veraniegos que coincide con el descrito en otros ambientes por diferentes autores ^{(20), (21)}.

En términos generales, los niveles del contaminante son mayores en Zaragoza que en Santander, si bien ninguna de las dos ciudades tiene fuertes núcleos industriales que puedan explicar esta diferencia. Podría sugerirse como causa de la mayor concentración el mayor nú-

mero de habitantes y el mayor parque automovilístico de la ciudad aragonesa, aunque es de destacar que las dos ciudades mantienen los niveles de NO_2 dentro del valor límite marcado por la normativa europea. La máxima concentración horaria alcanzada durante los ocho años fue de $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la ciudad de Santander (el 21 de enero de 2004) y de $164 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (el 3 de marzo de 2004) en Zaragoza, siendo $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el límite marcado para la protección de la salud.

La tendencia diaria del contaminante no es significativa en Santander (tau de Kendall 0,012, $p=0.342$), mientras que en Zaragoza existe una tendencia descendente y significativa (tau de Kendall -0.204, $p<0.001$).

Ozono (O_3)

El estudio de la concentración de los valores diarios de O_3 durante los ocho años analizados permite apreciar el ciclo anual, con máximos entre la primavera

Los niveles de PM_{10} sobrepasan los recomendados por la OMS para la protección de la salud en las dos ciudades estudiadas

y el verano y mínimos en invierno^{(22), (23)}. Este ciclo es opuesto al descrito en el caso del NO_2 y puede explicarse porque este contaminante secundario surge de la interacción de la luz solar con algunos componentes de la atmósfera, siendo el NO_2 su principal precursor.

Los valores más elevados de la concentración de ozono en el periodo estudiado se han registrado en Santander y los mínimos absolutos en Zaragoza (Figura 2). Además, en los primeros seis años los máximos en la ciudad costera se alcanzaron antes que en la de interior. La dependencia de la luz solar para su formación, así como las características meteorológicas y orográficas de cada ciudad, pueden favorecer situaciones de disipación o acumulación de los contaminantes, promoviendo de este modo las condiciones para que se produzcan las reacciones químicas necesarias para la formación o destrucción del ozono en un momento u otro del año.

La tendencia diaria del contaminante es significativa y positiva en las dos ciudades. En Santander el coeficiente de correlación tau de Mann-Kendall alcanza un valor de 0,1 ($p<0,001$), mientras que en Zaragoza el coeficiente de correlación es de 0,201 ($p<0,001$).

Al calcular las medias octohorarias, estableciendo como límite de concentración el marcado por las directivas europeas ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y teniendo en cuenta que no debe superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un periodo de tres años, se observa que aun- que sí hay días concretos en los que se

Figura 1. Serie diaria del dióxido de nitrógeno (2003-2010)

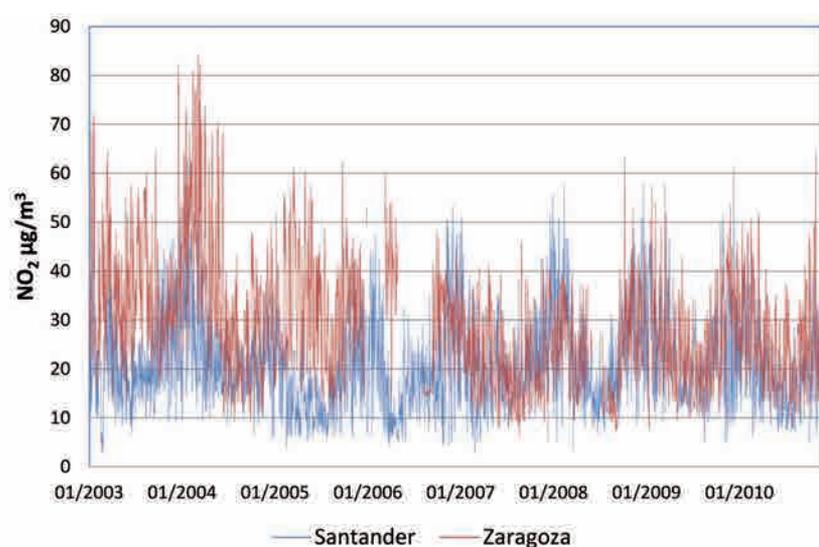


Figura 2. Serie diaria del ozono (2003-2010)

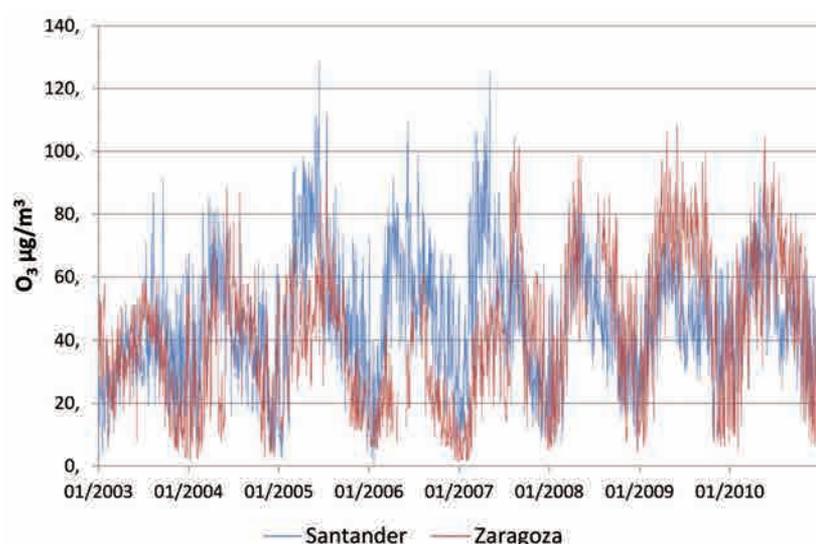


Tabla 1. Número de veces por año que se sobrepasa el umbral para la protección de la salud el ozono

Año	Nº de veces que la media octohoraria de ozono supera 120 µg/m³							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Santander	0	0	14	5	9	0	0	0
Zaragoza	0	0	0	0	7	4	14	7

supera el umbral, en ninguna de las dos ciudades se incumple la normativa (Tabla 1). Cabría destacar que en la ciudad de Santander dicho umbral se sobrepasa entre los años 2005 y 2007, mientras que en Zaragoza lo hace entre 2007 y 2010. El periodo en el que se sobrepasan los 120 µg/m³ en Santander es abril-julio, siendo junio el mes en el que más número de veces ocurre. En Zaragoza el umbral se sobrepasó entre abril y septiembre, siendo agosto el mes con mayor frecuencia de valores octohorarios superiores al umbral.

Material particulado de diámetro inferior a 10 micras (PM₁₀)

La evolución de la concentración diaria de material particulado de diámetro inferior a 10 micras durante los ocho años analizados (2003-2010) se muestra en la Figura 3. El comportamiento del material particulado no presenta ciclos anuales claros como en el caso del NO₂ y O₃.

En el estudio de los valores diarios del contaminante en las dos ciudades observamos tres fases diferenciadas. Durante los dos primeros años analizados (2003-2004), la concentración promedio fue mayor en la ciudad costera (33,3 µg/m³) que en la de interior (20,9 µg/m³); en los siguientes tres años (2005-2007) la concentración de PM₁₀ en Zaragoza aumentó notablemente, alcanzando un valor promedio de 39,2 µg/m³, mientras que en Santander la tendencia fue descendente (la concentración promedio fue de 28,5 µg/m³); finalmente, en los últimos tres años los valores en ambas ciudades tienden a igualarse, detectándose un descenso muy marcado en Zaragoza

(concentración promedio: 29,8 µg/m³) y manteniéndose en Santander (concentración promedio: 27,2 µg/m³).

La tendencia diaria del contaminante es significativa y negativa en Santander, teniendo el coeficiente de correlación tau de Mann-Kendall un valor de -0,119 (p<0,001), mientras que en Zaragoza la tendencia es positiva, su coe-

ficiente de correlación es de 0,077 (p<0,001).

En la Tabla 2 se muestra el umbral legal para evaluar si se ha cumplido la normativa europea de PM₁₀; en general, la concentración ha ido disminuyendo progresivamente durante el periodo de estudio siguiendo las indicaciones de la OMS en aras de proteger la salud; también las veces que este se sobrepasa han disminuido en cada ciudad. Durante la fase 1, que en nuestro periodo de estudio incluye los años 2003 y 2004, la concentración umbral de PM₁₀ no podía superarse más de 35 veces por año; durante la fase 2 (2005-2010), el valor umbral, así

Figura 3. Serie diaria del PM₁₀ (2003-2010)

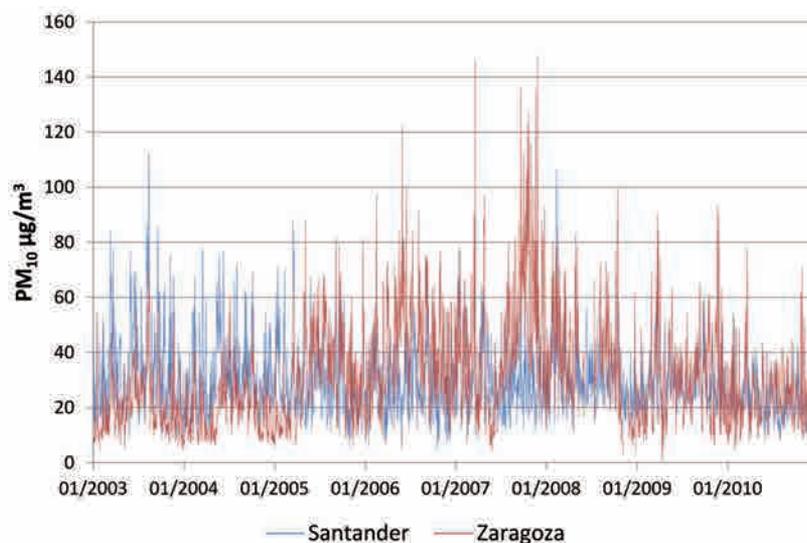


Tabla 2. Evolución de los valores de PM₁₀ (diario y promedios de 24 horas) respecto al límite legal

Valores umbral			Veces sobrepaso de umbral en el día (7.00h-8.00h)		Veces sobrepaso valor medio móvil de 24 horas	
Normativa	Año	Umbral legal	Santander	Zaragoza	Santander	Zaragoza
Fase 1	2003	60	37	2	824	35
	2004	55	29	1	701	30
Fase 2	2005	50	28	52	609	1110
	2006	50	14	108	315	2142
	2007	50	31	117	651	2648
	2008	50	23	57	509	1234
	2009	50	12	36	280	739
	2010	50	2	14	35	290



El ozono sigue un ascenso progresivo de lunes a domingo

como las veces que podía sobrepasarse, fue más estricto, reduciéndose a siete ocasiones por año.

En la Tabla 2 se han diferenciado dos columnas para marcar las veces que se sobrepasa el umbral legal: una hace referencia a veces por día (definido «día» como el promedio de las 24 horas comprendidas entre las 8.00 horas y las 7.00 horas del día siguiente) y la otra incluye todas las medias móviles de 24 horas que pueden calcularse en un año. La razón de haber incluido ambos valores es porque la Directiva 1999/30/CE, que recoge los límites legales de PM_{10} , y que da lugar al R.D.1073/2002, tiene una interpretación ambigua al no especificar cómo deben calcularse los promedios de 24 horas. Por nuestra parte, dados los objetivos del presente trabajo, entendemos que los intervalos horarios de 24 horas no deben regirse por el calendario civil, sino por periodos consecutivos durante los cuales la población «respira» de manera continua el contaminante. En consecuencia, el análisis de la tabla sugiere que si se atiende a las 24 horas com-

prendidas entre las 8.00 y las 7.00, Santander incumpliría la normativa todos los años a excepción del último (2010) y Zaragoza cumpliría la normativa durante la fase 1 (años 2003 y 2004) y la incumpliría de 2005 en adelante (fase 2). Pero por otro lado, si se tienen en cuenta todas las medias de 24 horas existentes en un año, Santander incumpliría la normativa durante la totalidad del periodo y Zaragoza la incumpliría durante el periodo 2005-2010. Esta segunda manera de interpretar la legislación es más estricta, por lo que son más las veces que se incumple la normativa. Cabe destacar que, pese al incumplimiento, si se evalúan las veces que se sobrepasa el límite legal a partir de 2007 en ambas ciudades se observa que estas decrecen, por lo que parece que las medidas que se están tomando en las ciudades para el control de emisiones tienen efecto.

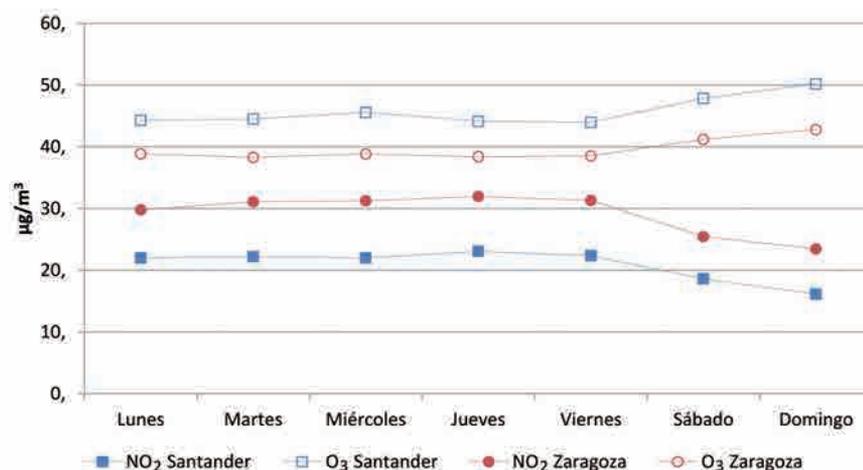
Comportamiento semanal de los contaminantes

Las variaciones diarias a lo largo de la semana se han estudiado con los calendarios semanales. La pauta diaria muestra en el NO_2 un suave ascenso de lunes a jueves en ambas ciudades, alcanzando este día su máximo nivel, y valores mínimos en sábado y domingo. Da-

do que la quema de combustibles fósiles se estima que es responsable de aproximadamente el 50% de la producción total de NO_x y que la actividad humana en los países industrializados sigue en gran parte un ciclo de siete días, es previsible que la reducción en la quema de combustibles fósiles –industria de la energía, comercio, sector agropecuario, transporte – los fines de semana explique este descenso en el contaminante ^{(24), (25)}.

Sin embargo, el ozono sigue un ascenso progresivo de lunes a domingo; al hecho de que se alcancen las mayores concentraciones los sábados y los domingos se le conoce como *efecto fin de semana (Weekend Effect)*. Esta situación ha sido constatada en diferentes países ^{(26), (27), (28)}. La diferencia en la concentración semanal de este compuesto está relacionada con las variaciones en las emisiones de los precursores del ozono (óxidos de nitrógeno (NO_x) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs), y explica el comportamiento cuasi especular entre el NO_2 y el O_3 que se puede apreciar en la Figura 4. Dado que el dióxido de nitrógeno disminuye el fin de semana mientras el ozono asciende, el cociente NO_2/NO aumenta significativamente el fin de semana respecto al resto de días.

Figura 4. Calendario semanal NO_2 vs O_3



Los óxidos de nitrógeno juegan un papel diferente en el ciclo del ozono troposférico. Mientras que el dióxido de nitrógeno (NO₂) cataliza la formación de ozono, el óxido nítrico (NO) conduce a su destrucción. La oxidación directa de NO con O₃ (O₃ + NO → NO₂ + O₂) es la ruta más directa para la formación de dióxido de nitrógeno en la atmósfera y describe la principal vía de eliminación de ozono en las capas bajas de la atmósfera, siempre que se den las condiciones adecuadas (exceso de NO, escasez de compuestos orgánicos y flujo actínico limitado). Por su parte, por irradiación el dióxido de nitrógeno puede liberar un átomo de oxígeno altamente reactivo que da lugar a la formación del ozono troposférico; todo esto justificaría el comportamiento antagónico del O₃ y el NO₂ ^{(29), (30), (31)}.

Puesto que en las emisiones existe un claro predominio del óxido nítrico (NO), en las aglomeraciones urbanas y en los entornos industriales de lunes a viernes la destrucción de ozono es más importante que su formación, ocurriendo lo opuesto los fines de semana. Este proceso podría explicar el *efecto fin de semana*, periodo en el que se observa un incremento de ozono en las ciudades debido, entre otras posibles causas, al descenso del tráfico rodado (menores niveles de NO).

En la Figura 5 se muestra el calendario promedio semanal del PM₁₀. Para el estudio de este contaminante se ha decidido separar las concentraciones diurnas y nocturnas. La pauta del promedio diario semanal muestra mayores valores entre semana que durante el fin de semana (al igual que el NO₂, pero al revés que el O₃). La concentración promedio máxima diurna en ambas ciudades se alcanza los jueves, mientras que la máxima nocturna se da en Zaragoza los jueves pero en Santander los viernes. La mínima concentración tanto nocturna como diurna en ambas ciudades se



Latinstock

El incremento en la concentración de ozono se asocia a un mayor número de visitas a urgencias por asma en ambas ciudades

da el domingo. La diferencia entre la concentración alcanzada el fin de semana y el resto de los días es muy superior durante el día que durante la noche entre semana, no así durante el sábado y domingo. Además, existen diferencias marcadas entre Santander, donde la dife-

rencia diurna con el fin de semana es de 4,5 µg/m³, y Zaragoza, donde la diferencia es mucho más marcada, siendo en promedio de 8,9 µg/m³.

La comparación de los valores promedio de los días de la semana en las dos ciudades sugiere que los valores diurnos de lunes a viernes son significativamente superiores (p<0,05) en Zaragoza (diferencia media de 3,5 µg/m³), mientras que el fin de semana no existen diferencias significativas entre las dos ciudades. En lo referente a los valores nocturnos, no existen diferencias significativas entre la concentración de las dos ciudades ningún día de la semana.

Figura 5. Calendario semanal día-noche del PM₁₀ con intervalo de confianza del 95%

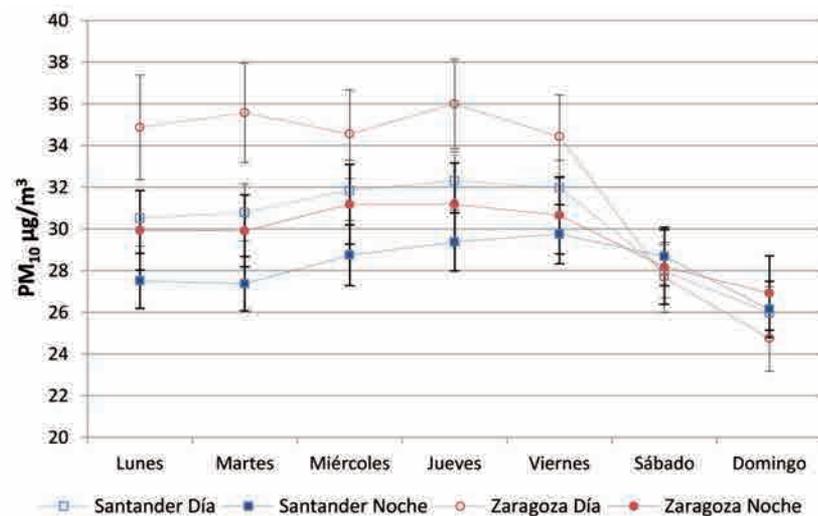


Tabla 3. Tendencia anual de los contaminantes ($p < 0,01$)

	Tendencia anual		
	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
Santander		+	-
Zaragoza	-	+	+

Variaciones anuales de los contaminantes

La Tabla 3 recoge de forma sintética la tendencia anual de los contaminantes a lo largo de los ocho años en las dos ciudades estudiadas. Se representan en rojo las situaciones en las que el índice tau de Kendall indica una tendencia creciente en el contaminante, para una $p < 0,01$; en verde, aquellas en las que la tendencia es decreciente, y queda en blanco aquel contaminante en el que no se identificó una tendencia anual significativa.

Modelo de análisis temporal mediante regresión lineal de Poisson

Asma y NO₂

La Tabla 4 muestra el coeficiente de regresión de Poisson y la Tasa Relativa de Incidencia (TRI) con un intervalo de confianza de Wald del 95%. Solamente se han incluido los días en los que la relación entre el contaminante y la patología, tras ajustar el modelo, eran estadísticamente significativos ($p < 0,05$).

Los resultados indican que un aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de NO₂ en la ciudad de Santander está asociado a una disminución en torno a un 0,4 % en las visitas a urgencias por asma el mismo día, y a un aumento en torno al 0,36% dos días después de la exposición al contaminante. El efecto al día siguiente y a los tres días no es estadísticamente significativo ($p > 0,05$) y por ello no se incluyen los valores en el gráfico.

En Zaragoza, sin embargo, no existe un efecto estadísticamente significativo en las visitas a urgencias el mismo día de

la exposición al contaminante, pero sí al día siguiente, cuando un aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de NO₂ lleva asociado un descenso de un 0,7% en las visitas a urgencias por crisis asmáticas. A los dos días de provocarse el aumento del contaminante ascendieron un 0,42% las visitas a urgencias por cada unidad del compuesto químico, y a los tres días de la inhalación la incidencia de episodios asmáticos subió un 0,52%.

Dada la respuesta fisiopatológica desencadenada por el compuesto químico, es previsible que exista un retardo en los efectos causados tras la exposición. Castro y col. describieron que los mayores efectos sobre la función pulmonar tras la exposición al NO₂ se apreciaban a los dos y tres días de la misma⁽³²⁾.

Si bien es cierto que no era esperable que existiera un descenso en las visitas a urgencias por asma (como ocurre el mismo día que asciende la concentración del contaminante en la ciudad de Santander y al día siguiente en la ciudad de Zaragoza), hay numerosos factores de riesgo para el asma, y no todos se han incluido en el trabajo. Cabe destacar entre ellos el polen, que no ha podido estudiarse por no existir series diarias accesibles de las ciudades analizadas durante el periodo estudiado. El asma ocasionado por hipersensibilidad al polen es muy frecuente.

Los niveles de polen están afectados por las variables meteorológicas. Durante el periodo de polinización (que es variable según la especie), la concentración de polen aumenta con el ascenso de la temperatura y desciende con el frío y la lluvia⁽³³⁾, siguiendo por tanto un patrón como el del ozono y opuesto al del dióxido de nitrógeno. Esto podría apoyar nuestros resultados.

Asma y ozono

Los resultados del análisis de las exacerbaciones asmáticas siendo el ozono el factor final se muestran en la Tabla 5.

Un aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración de ozono en la ciudad de Santander está asociado a un incremento de un 0,12% en las visitas a urgencias por asma el mismo día, y en la ciudad de Zaragoza a un aumento del 0,14% al día siguiente de la exposición al contaminante. Esto complementa y podría explicar la asociación negativa obtenida al analizar el NO₂.

Dado que la diferencia promedio real de un día al siguiente en la concentración de O₃ en la ciudad de Santander es de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, supondría un incremento de un 1,32%.

Por su parte, la variación promedio en la concentración de ozono en Zaragoza es de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que supondría un

Tabla 4. Coeficiente de regresión de Poisson y TRI del NO₂

	NO ₂	Coef. Regr. Poisson	TRI (%)	p
Santander	En el día	$-4,1 \cdot 10^{-3} \pm 1,60 \cdot 10^{-3}$	$99,59 \pm 0,16 \%$	$< 0,001$
	Dos días antes	$3,35 \cdot 10^{-3} \pm 1,74 \cdot 10^{-3}$	$100,30 \pm 0,17 \%$	$< 0,001$
Zaragoza	Un día después	$-7,09 \cdot 10^{-3} \pm 2,36 \cdot 10^{-3}$	$99,29 \pm 0,23 \%$	$< 0,001$
	Dos días antes	$4,18 \cdot 10^{-3} \pm 2,52 \cdot 10^{-3}$	$100,42 \pm 0,25 \%$	$< 0,005$
	Tres días antes	$5,22 \cdot 10^{-3} \pm 2,37 \cdot 10^{-3}$	$100,52 \pm 0,24 \%$	$< 0,001$

Tabla 5. Coeficiente de regresión de Poisson y TRI del O₃

	O ₃	Coef. Regr. Poisson	TRI (%)	p
Santander	En el día	$1,24 \cdot 10^{-3} \pm 1,01 \cdot 10^{-3}$	$100,12 \pm 0,10 \%$	$< 0,05$
Zaragoza	Un día después	$1,37 \cdot 10^{-3} \pm 1,14 \cdot 10^{-3}$	$100,14 \pm 0,11 \%$	$< 0,05$

Tabla 6. Coeficiente de regresión de Poisson y TRI del PM₁₀

	PM ₁₀	Coef. Regr. Poisson	TRI (%)	p
Santander	En el día	-1,67.10 ⁻³ ± 1,05.10 ⁻³	99,83 ± 0,10 %	<0,005
Zaragoza	Un día después	-1,69.10 ⁻³ ± 1,08.10 ⁻³	99,83 ± 0,11 %	<0,005

incremento de un 1,27% en las visitas atendidas por asma.

Asma y PM₁₀

La Tabla 6 muestra que en Santander solo se encontró una asociación significativa (p<0,005) entre el nivel de PM₁₀ y el asma el mismo día de la exposición, y en Zaragoza, al día siguiente de la inmisión.

La relación negativa entre los niveles de PM₁₀ y las crisis asmáticas no concuerda con lo recogido en la bibliografía. Sin embargo, existe una posible explicación para la situación encontrada en Santander; al tratarse de una ciudad costera, el material particulado contiene una fracción variable cuyo origen se encuentra en el *spray* marino ^{(34), (35)}, y éste mejora la función pulmonar en asmáticos ⁽³⁶⁾. En Zaragoza, al ser una ciudad de interior, la hipótesis planteada para Santander no sería válida, pues no existe fracción marina en su composición ⁽³⁷⁾.

Sin embargo, lo que muestran los últimos estudios es que, aunque hasta el momento eran los efectos del PM₁₀ los que se analizaban y a los que se atribuían los síntomas respiratorios, es el PM_{2,5} el que tiene acceso a las vías respiratorias bajas, depositándose en ellas y siendo su expulsión muy complicada, mientras que las partículas en el rango de 2,5 µm a 10 µm se depositan preferentemente en la región traqueobronquial y nasofaríngea, desde donde puedes ser expulsadas. Además, el PM_{2,5} es capaz de inducir respuestas citotóxicas e inflamatorias en las células pulmonares epiteliales humanas ⁽³⁸⁾. Es por esto que para completar el estudio se inten-

tó recoger los datos correspondientes a la concentración de PM^{2,5}, pero estas partículas no empezaron a medirse en las ciudades de estudio hasta el segundo semestre del año 2009, ya que hasta 2008 no se implantó una normativa en España legislando las necesidades en su control (Directiva 2008/50/CE), por lo que no existen datos suficientes para el periodo analizado.

Conclusiones

La concentración de dióxido de nitrógeno registrado en las ciudades de Santander y Zaragoza durante el periodo 2003-2010 se mantuvo por debajo del límite legal, encontrándose durante esos ocho años dentro de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para la protección de la salud.

Los niveles de NO₂ en la ciudad de Zaragoza fueron superiores a los alcanzados en Santander, pero la tendencia anual del contaminante fue descendente y estadísticamente significativa en la ciudad aragonesa.

El ozono no incumplió la normativa europea durante el periodo de estudio. Su concentración en la ciudad de Santander fue superior a la alcanzada en la ciudad de Zaragoza. La tendencia del contaminante es ascendente y estadísticamente significativa en las dos ciudades españolas.

El ozono siguió un patrón semanal con máximos en el fin de semana, comportamiento opuesto al del NO₂.

El material particulado de diámetro inferior a 10 micras sobrepasó el um-



Latinstock

Se encuentra una relación inversa entre el PM₁₀ y los episodios de asma. ¿Será responsable su fracción de origen natural marino? ¿Es el material de menor tamaño (PM_{2,5}) el responsable de los efectos sobre la salud?

bral legal en Santander durante la totalidad del periodo estudiado, y en Zaragoza se incumplió la normativa en los seis últimos años analizados. De entre las dos ciudades, Santander presenta mayores valores promedio durante los años 2003 y 2004, pero a partir de 2005 la situación se invierte. Cabe señalar que la tendencia anual del contaminante fue descendente en Santander y ascendente en Zaragoza.

La relación entre el asma y los contaminantes atmosféricos varía según

la especie química y la relación con la inmisión se muestra en algunas ocasiones con días de retardo. Las visitas a urgencias por asma en Santander se asocian inversamente con el nivel de NO₂ y PM₁₀ respirado el mismo día de

la crisis, y positivamente con el nivel de O₃. En Zaragoza, la asociación es la misma pero no se da hasta un día después de la inmisión del contaminante. Además, en el caso del NO₂, se encuentra una relación directa a los dos días de la

exposición al compuesto en ambas ciudades, y hasta tres días después en Zaragoza. ♦

Este trabajo ha sido financiado gracias a una Ayuda a la Investigación concedida por FUNDACIÓN MAPFRE.

Referencias

- [1] Vargas M, Francisco Gallego Pulgarín I. Environmental Quality: Welfare, Confort and Health. Rev. Esp. Salud Pública. 2005; 79(2): p. 243-251.
- [2] Burgess EW. The Growth of the City: An Introduction to a Research Project. Urban Ecology. 2008; SII(71-78).
- [3] Reher DS. Desarrollo urbano y evolución de la población: España 1787-1930. Rev. Historia Económica. 1986; 4: p. 39-66.
- [4] Pinilla V, Ayuda M, Sáez LA. Rural depopulation and the migration turnaround. In Rajagopalan S, editor. Rural depopulation and the migration turnaround in Mediterranean Western Europe: A Case of Study of Aragon. The Icfai university Press; 2008. p. 1-22.
- [5] Massie S, Wu F, Krotkov N, Levelt P, Chu A. Satellite observations of SO₂, NO₂, CO, and aerosol over China. The Smithsonian/NASA Astrophysics Data System. 2009.
- [6] Chan KC, Yao X. Air pollution in mega cities in China. Atmospheric Environment. 2008; 42: p. 1-42.
- [7] Khalil MAK, Rasmussen RA. Carbon monoxide in the Earth's atmosphere: Increasing Trend. Science. 1984; 224(4644): p. 54-56.
- [8] Khalil MAK, Rasmussen RA. The global cycle of carbon monoxide: Trends and mass balance. Chemosphere. 1990; 20: p. 227-242.
- [9] WHO. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global Update 2005. Gónova; 2006.
- [10] Cohen AJ, Ross Alexander H, Ostro B, Pandey KD, Kryzanowski M, Künzli N, et al. The global burden of disease due to outdoor air pollution. J Toxicol Environ Health A. 2005; 68: p. 1-7.
- [11] Cox Jr LA. Caveats for causal interpretations of linear regression coefficients for fine particulate (PM_{2.5}) air pollution health effects. Risk Analysis. 2013.
- [12] Hoek G, Krishnan RM, Beelen R, Peters A, Ostro B, Brunekreef B, et al. Long-term air pollution exposure and cardio-respiratory mortality: a review. Environmental Health. 2013; p. 43.
- [13] N Künzli MD, al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. The Lancet. 2000; p. 795-801.
- [14] Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyves E, Pan Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. Environ Int. 2006; 32(6): p. 815-30.
- [15] Chen Y, Craig L, Krewski D. Air quality risk assessment and management. Journal of Toxicology and Environmental Health. 2008; 71(1): p. 24-39.
- [16] Baccini M, Biggeri A, Grillo P, Consonni D, Bertazzi PA. Health impact assessment of fine particle pollution at the regional level. Am J Epidemiology. 2011; 174(12).
- [17] Pope CA, Ezzati M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. The New England Journal of Medicine. 2009; 360(4): p. 376-386.
- [18] Martín-Vide J. El tiempo y el clima. Rubes; 2003.
- [19] Saez M, Pérez-Hoyos S, Tobias A, Saurina C, Barceló MA, Ballester F. Métodos de series temporales en los estudios epidemiológicos sobre contaminación atmosférica. R. Española de salud pública. 1999; 73: p. 133-143.
- [20] Bigi A, Harrison RM. Analysis of the air pollution climate at a central urban background site. Atmospheric Environment. 2010; 44(16): p. 2004-2012.
- [21] Uno I, Ohara T, Wakamatsu S. Analysis of wintertime NO₂ pollution in the Tokyo metropolitan area. Atmospheric Environment. 1996; 30(5): p. 703-713.
- [22] Monks PS. A review of the observations and origins of the spring ozone maximum. Atmospheric Environment. 2000; 34(21): p. 3545-3561.
- [23] Vingarzan R. A review of surface ozone background levels and trends. Atmospheric Environment. 2004; 38(21): p. 3431-3442.
- [24] Beirle S, Platt U, Wenig M, Wagner T. Weekly cycle of NO₂ by GOME measurements: a signature of anthropogenic sources. Atmos. Chemistry and Physics. 2003; 3: p. 2225-2232.
- [25] Boersma KF, Jacob DJ, Trainic M, Rudich Y, DeSmedt I, Dirksen R, et al. Validation of urban NO₂ concentrations and their diurnal and seasonal variation observed from the SCIAMACHY and OMI sensors using in situ surface measurements in Israeli cities. Atmos. Chemistry and Physics. 2009; 9: p. 3867-3879.
- [26] Sadanaga Y, Sengen M, Takenaka N, Bandow H. Analyses of the ozone weekend effect in Tokyo, Japan: Regime of Oxidant (O₃ + NO₂) Production. Aerosol and Air Quality Research. 2012; 12: p. 161-168.
- [27] Seguel RJ, Morales R, Leiva M. Ozone weekend effect in Santiago, Chile. Environmental Pollution. 2012; 162: p. 72-79.
- [28] Pollack IB. Airborne and ground-based observations of a weekend effect in ozone, precursors, and oxidation products in the California South Coast Air Basin. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2012; 117(16): p. 1984-2012.
- [29] Pujadas Cordero M. Formación y transporte de dióxido de nitrógeno en la cuenca aérea de Madrid en situaciones episódicas de invierno. ; 2004.
- [30] Wen Yuan1 T, Chun Sheng Z, Fu Hai G, Li P, Guang Qiang Z, Wei G, et al. Study of ozone «weekend effect» in Shanghai. Sci China Ser D-Earth Sci. 2008; 51(9): p. 1354-1360.
- [31] Atkinson-Palombo C, Miller JA, Balling RC. Quantifying the ozone «weekend effect» at various locations in Phoenix, Arizona. Atmospheric Environment. 2006; 40(39): p. 7644-7658.
- [32] Castro A, Cunha M, Azevedo G, Silva M, Junger W, De Leon A. Effect of air pollution on lung function in school children in Rio de Janeiro, Brazil. Rev. Saude Publica. 2009; 43(1): p. 1-8.
- [33] Valero Santiago AL, Picado Vallés C. Polinosis. Barcelona: Hospital Clínico, Servicio de Neumología y Alergia respiratoria.
- [34] Arruti A, Fernández-Olmo I, Iribien Á. Evaluation of the contribution of local sources to trace metals levels in urban PM_{2.5} and PM₁₀ in the Cantabria region (Northern Spain). Journal of Environmental Monitoring. 2010; 12(7): p. 1451-1458.
- [35] Bode A, Fernández E, Botas A, Riquardo A. Distribution and composition of suspended particulate matter related to a shelf-break saline intrusion in the Cantabrian Sea (Bay of Biscay). Oceanologica. 1990; 13(2).
- [36] Menger W, Schellhaas J. A telemetric study of the secretolytic effect of sea-air on children with bronchial asthma. Praxis und Klinik der Pneumologie. 1980; 34(12): p. 746-9.
- [37] López JM, Callén MS, Murillo R, García T, Navarro MV, de la Cruz MT, et al. Levels of selected metals in ambient air PM₁₀ in an urban site of Zaragoza (Spain). Environmental Research. 2005; 99(1): p. 58-67.
- [38] Dagher Z, Garçon G, Gosset P, Ledoux F, Surpateanu G, Courcot D, et al. Pro-inflammatory effects of Dunkerque city air pollution particulate matter 2.5 in human epithelial lung cells (L132) in culture. J. Applied Toxicology. 2005; 25(2): p. 166-75.

Estudio de las

TORMENTAS GEOMAGNÉTICAS

*y evaluación de su impacto
en el ámbito de las tecnologías
e infraestructuras en España
y Portugal*

Por **MIGUEL HERRAIZ SARACHAGA**. Doctor en Ciencias Físicas. Catedrático de Física de la Tierra en el Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Universidad Complutense. **GRACIA RODRÍGUEZ CADEROT**. Doctora en Ciencias Físicas, Profesora Titular en el Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I, Sección Departamental de Astronomía y Geodesia en la Facultad de Matemáticas, Universidad Complutense. **MARTA RODRÍGUEZ BOUZA**. Licenciada en Ciencias Físicas, Máster en Geofísica y Meteorología. Estudiante de Doctorado. **IZARRA RODRÍGUEZ BILBAO**. Licenciada en Ciencias Físicas, Máster en Geofísica y Meteorología. Estudiante de Doctorado. **FRANCISCO SÁNCHEZ DULCET**. Licenciado en Ciencias Físicas, Máster en Geofísica y Meteorología. Oficial del Ejército de Tierra y Diplomado en Geodesia. Colaborador Honorífico de la Universidad Complutense. **BEATRIZ MORENO MONGE**. Doctora en Ciencias Matemáticas. Investigadora TIC para el Centro de Innovación de Infraestructuras Inteligentes (Ci3). **IRIA BLANCO CID**. Licenciada en Ciencias Físicas, Máster en Geofísica y Meteorología. Estudiante de Doctorado. **BENITO A. DE LA MORENA CARRETERO**. Doctor en Ciencias Físicas. Jefe de la Estación de Sondeos Atmosféricos del INTA en El Arenosillo, Huelva. **JOAQUÍN ESCAYO MENÉNDEZ**. Graduado en Física, Estudiante del Máster en Meteorología y Geofísica.



Este artículo describe el fenómeno de las tormentas geomagnéticas y sus efectos en los recursos tecnológicos y presenta pautas de actuación que pueden permitir a las empresas, instituciones oficiales y servicios públicos más vulnerables ante este fenómeno adoptar medidas de urgencia destinadas a evitar o reducir los daños. El problema es estudiado en su contexto más amplio: la Meteorología Espacial (*Space Weather*). De esta manera se puede alcanzar una mejor comprensión de los diferentes fenómenos físicos relacionados con las tormentas y facilitar la explicación de este fenómeno a los agentes sociales y al público en general.

Las tormentas geomagnéticas, también llamadas «tormentas magnéticas», son perturbaciones del campo magnético de la Tierra, de alcance global, originadas por un incremento de la presión que el viento solar ejerce sobre él⁽¹⁾. Algunas tormentas geomagnéticas afectan intensamente a la ionosfera terrestre provocando «tormentas ionosféricas», fenómenos que, por su influencia sobre los sistemas globales de navegación y posicionamiento por satélite (GNSS), reciben particular atención en este artículo. Como se explicará enseguida, las tormentas geomagnéticas tienen su origen en procesos energéticos violentos que ocurren en el Sol y reciben el nombre genérico de «tormentas solares». Hablaremos, por tanto, de tres tipos diferentes de tormentas: solares, geomagnéticas e ionosféricas. Los tres están estrechamente relacionados entre sí, pero conviene diferenciarlos adecuadamente.

La mayor parte de las tormentas geomagnéticas son de pequeña magnitud y

Latinstock

no causan grandes daños. En el hemisferio norte se manifiestan mediante auroras boreales visibles en zonas de muy alta latitud, como Islandia, Groenlandia o norte de Noruega, Suecia y Finlandia. En el hemisferio sur se produce un fenómeno similar que constituye las «auroras australes». Sin embargo, también se producen frecuentes tormentas intensas, como las que analizamos en este artículo, que, además de las auroras, pueden producir grandes daños. La agencia estadounidense NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) estima que en un ciclo solar de 11 años puede haber cuatro tormentas geomagnéticas «extremas», 100 «severas» y 200 «fuertes», lo que indica que se trata de un fenómeno natural frecuente.

La primera señal de la importancia de las tormentas geomagnéticas muy intensas se produjo los días 1 y 2 de septiembre de 1859, cuando tuvo lugar una gigantesca erupción solar que originó la tormenta geomagnética más importante registrada hasta nuestros días. Este suceso se conoce como «evento de Ca-



El «apagón de Quebec» de marzo de 1989 dejó a 5 millones de personas sin electricidad durante 9 horas y causó daños en transformadores por valor de 12 millones de dólares

rrington» en honor del astrónomo inglés que observó la fulguración solar y la relacionó con la tormenta magnética registrada en la Tierra^{[2][3]}. La tormenta produjo auroras que fueron claramente visibles en la península Ibérica e, incluso, en latitudes próximas a 20°^[4]. Además, dañó los sistemas de telegrafía de la época, produciendo, en muchos casos, el incendio de los equipos^[5]. Fue la primera vez que un fenómeno de este tipo afectaba a un recurso tecnológico, y

este hecho se considera hoy como una llamada de atención sobre la influencia que una tormenta de esas características puede tener en nuestra sociedad, totalmente dependiente de la tecnología.

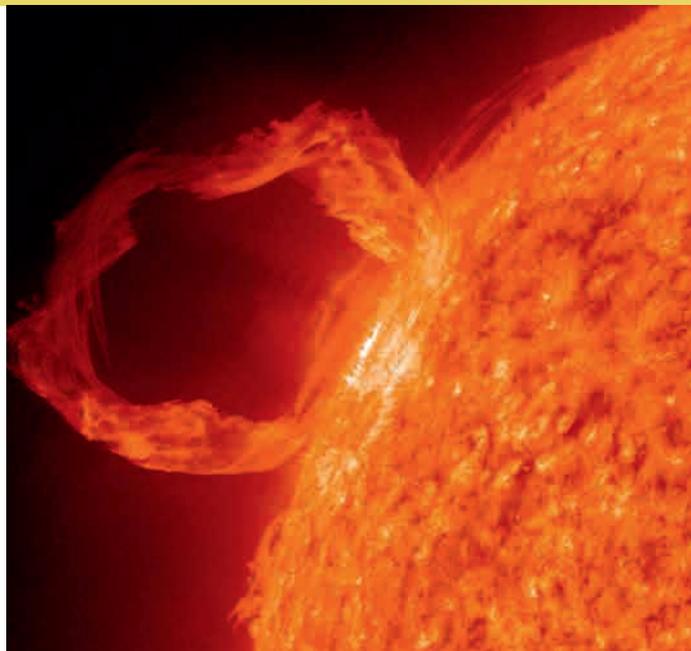
La importancia de los efectos de una gran tormenta geomagnética puede entreverse recordando que los recursos más directamente perjudicados serían los satélites, las redes distribuidoras de electricidad, los sistemas de conducción de gas y petróleo, y el transporte por avión y ferrocarril. Los efectos sobre los satélites pueden originar una cadena de consecuencias sobre los sistemas de posicionamiento, navegación y comunicaciones, produciendo el colapso de recursos tan diferentes como el tráfico aéreo y marítimo, los sistemas de seguridad y vigilancia y las operaciones bancarias. A su vez, los campos eléctricos que se generan por las variaciones de campo magnético durante una tormenta geomagnética son capaces de inducir corrientes eléctricas en los sistemas conductores (cables eléctricos, conducciones metálicas, terrenos, etc.). Estas corrientes, llamadas genéricamente GICs (*Geomagnetically Induced Currents*), son muy peligrosas para las conducciones metálicas subterráneas, como tuberías de petróleo o gasoductos, y para los sistemas eléctricos. El deterioro de los sis-



Las tormentas geomagnéticas se manifiestan en el hemisferio norte mediante auroras boreales en zonas de muy alta latitud; en el hemisferio sur, a través de auroras australes.

Meteorología Espacial, una nueva disciplina

Las tormentas geomagnéticas son una manifestación de la Meteorología Espacial (*Space Weather*), un nuevo campo de estudio iniciado en la década de los 90 del siglo pasado que estudia las condiciones del Sol y el viento solar, la magnetosfera, la ionosfera y la termosfera, que pueden influir en el rendimiento y la fiabilidad de los sistemas tecnológicos, tanto espaciales como terrestres, y que, incluso, pueden poner en peligro la salud humana. A grandes rasgos, los estudios que comprende la meteorología espacial abarcan tres ámbitos: el Sol y su atmósfera (como origen de la energía), el espacio interplanetario (como medio de propagación) y la magnetosfera, la ionosfera y la superficie terrestre (como regiones afectadas). La adquisición de un mejor conocimiento de la meteorología espacial y el diseño de sistemas de alerta temprana son puntos clave para mitigar los riesgos asociados a las tormentas geomagnéticas.



temas de distribución eléctrica de alta tensión, particularmente en los grandes transformadores, puede producir extensos y largos apagones, con el consiguiente perjuicio para millones de habitantes en las zonas afectadas al dañar servicios básicos (regulación del tráfico, sistemas de transporte, depuración de aguas) e instalaciones críticas: hospitales, parques de bomberos, centrales nucleares. El «apagón de Quebec» originado por la tormenta magnética de marzo de 1989 es una buena prueba de que estos riesgos existen. Este apagón dejó a 5 millones de personas sin electricidad durante nueve horas, causó daños en transformadores en Estados Unidos y Canadá por valor de 12 millones de dólares y obligó a dar de baja y reparar dos equipos de estas características en el Reino Unido. Además, afectó seriamente a numerosos satélites. Se calcula que hubo unos 1.600 sobre los que se perdió temporalmente el control de la órbita^[6].

La probabilidad de que ocurra una tormenta semejante al «evento de Carrington»

es un tema de intenso debate. Recientemente, Riley^[7] ha estimado en un 12% la probabilidad de que un evento de esta categoría suceda en los próximos 10 años, pero este valor parece exagerado para muchos científicos. En 2013, Kataoka^[8] rebajó esta probabilidad al 4-6%, estimación que todavía sigue siendo elevada. La realización de valoraciones fiables resulta muy difícil debido al conocimiento incompleto de algunos de los procesos físicos implicados y a la ausencia de series de datos suficientemente extensas y fiables, pero todos los estudios subrayan la realidad de este peligro natural.

Si una tormenta magnética de la misma magnitud que la de Carrington sucediera hoy, las consecuencias serían inimaginables, ya que la dependencia de la tecnología ha aumentado exponencialmente desde 1859. Las estimaciones predicen para Estados Unidos grandes efectos en cascada, de varios años de duración y con una pérdida de miles de millones de dólares. Por ejemplo, Odenwald y Green (2007) han estimado en 30.000 millo-

nes de dólares las pérdidas que una tormenta similar a la de Carrington podría producir actualmente en los satélites situados en órbita geostacionaria^[9]. El impacto puede ser tan grande que diversos países intensamente industrializados como Estados Unidos y el Reino Unido han incluido esta amenaza en la lista de riesgos naturales y han adoptado iniciativas sobre el tema. Podemos citar, entre otros casos, las recomendaciones publicadas por instituciones como el FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) y la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) en EE.UU., y el *National Risk Register (NRR) of Civil Emergencies* en el Reino Unido. Esta inquietud también se ha hecho presente en Organismos Internacionales como la OCDE (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo), que en 2011 publicó el informe *Geomagnetic Storms*.

En España, la respuesta social ante este problema es todavía muy limitada, aunque la Dirección General de Protección Civil ha organizado en 2011, 2012 y

2013 jornadas técnicas dedicadas a presentar el problema a las instituciones y empresas que pueden verse más intensamente afectadas. Por su carácter práctico y su oportunidad, cabe destacar una iniciativa de la Junta de Extremadura, que en marzo de 2011 editó un *Decálogo de buenas prácticas. Tormenta solar severa, cómo prevenir*. En el ámbito legislativo, a propuesta del Grupo Socialista e impulsada por iniciativas ciudadanas, el Congreso de los Diputados aprobó el 27 de marzo de 2012 una Proposición No de Ley sobre este tema. En el campo científico, las tormentas magnéticas están siendo estudiadas desde distintos enfoques en varias universidades (sobre todo Complutense de Madrid, de Alcalá de Henares y Politécnica de Cataluña) y en organismos como el Observatorio del Ebro, el Instituto Geográfico Nacional y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

El marco del problema

Aunque parezca un poco contradictorio, la historia de una tormenta geomagnética se inicia en el Sol. Su acción sobre la Tierra se realiza a través de su campo gravitatorio, la radiación electromagnética (de la que la luz visible y el calor son las expresiones más palpables) y la emisión continua de materia de su corona, que constituye el «viento solar». Este viento es un flujo de plasma compuesto por protones, electrones y partículas alfa, extraordinariamente tenue (10 partículas/cm³ en las cercanías de la Tierra), que, en condiciones normales, se mueve a una velocidad de unos 400 km/s y arrastra consigo el campo magnético del Sol. Las características de la radiación electromagnética y el



Satélite SOHO.

viento solar emitidos por el Sol dependen estrechamente de su nivel de actividad, que tiene una componente cíclica y otra esporádica. La primera se caracteriza por seguir un periodo aproximado de 11 años que se denomina ciclo solar. El incremento de actividad se expresa por un aumento del número de manchas en su fotosfera y por la presencia de un mayor número de los fenómenos violentos que constituyen la actividad esporádica. Por ello, esta segunda componente, aunque imprevisible, tiene también un cierto carácter periódico y tiende a aumentar en las fases en las que el ciclo periódico de actividad se encuentra en su máximo.

Las manchas solares reciben este nombre porque son zonas de la superficie visible del Sol, la fotosfera, que aparecen oscuras, ya que su temperatura, unos 4.500 K, es inferior a la del entorno, próxima a 6.000 K. El número de manchas solares se mide con el «número de Wolf»,

un indicador muy utilizado para evaluar la actividad solar y del que la serie de mediciones fiables se extiende hasta 1848. El campo magnético cerca de las manchas solares adquiere grandes valores y constituye una fuente de energía que se manifiesta violentamente en forma de gigantescas erupciones conocidas como fulguraciones solares. Esto hace que las zonas con manchas se consideren «regiones activas» del Sol. Las fulguraciones, junto con las eyecciones de masa coronal (CME, *Coronal Mass Ejection*) que se relacionan es-

trechamente con ellas, y los agujeros coronales –regiones oscuras en las que el campo magnético presenta zonas abiertas–, arrojan cantidades inmensas de masa de la corona del Sol al medio interplanetario, modificando la velocidad y densidad del viento solar.

Por su parte, las fulguraciones solares se catalogan en función del flujo de potencia de rayos X liberado, que se mide en W/m². Se consideran cinco grupos principales, que se nombran con las letras A, B, C, M y X, y dentro de cada uno de ellos existen nueve grados en los que cada uno indica doble flujo que el anterior. Las clases M y X indican fenómenos que pueden provocar efectos relevantes en el espacio próximo a la Tierra. Por ejemplo, las tres fulguraciones solares más importantes de los días 13 y 14 de mayo de 2013 fueron generadas por la misma región activa (núcleo de manchas solares AR 11748) y alcanzaron unos valores de X1.7, X2.8 y X3.2.

Los fenómenos violentos en el Sol llegan a la Tierra en forma de radiación electromagnética unos ocho minutos después de producirse, y en forma de partículas y perturbaciones del campo magnético interplanetario entre varias horas y unos pocos días más tarde

Los ciclos de actividad solar se numeran sucesivamente por iniciativa de Wolf (1816-1893), quien asignó el número 1 al periodo 1755-1766. En este artículo prestamos atención al Ciclo 23, que se extendió desde, aproximadamente, mayo de 1996 hasta diciembre de 2007, y al Ciclo 24 en el que nos encontramos actualmente.

Los fenómenos violentos en el Sol llegan a la Tierra en forma de radiación electromagnética unos ocho minutos después de producirse el suceso y en forma de partículas y perturbaciones del campo magnético interplanetario arrastrados por el viento solar entre varias horas y unos pocos días después. Esto quiere decir que los fenómenos en el Sol han tenido lugar ocho minutos antes de su observación desde la Tierra, pero queda un periodo de varias horas hasta que las perturbaciones generadas por estos fenómenos solares afecten a la Tierra y puedan producir una tormenta geomagnética. Por tanto, existe la posibilidad de predecir la aparición de una tor-

menta geomagnética y de adoptar medidas preventivas ante ella.

La emisión del viento solar es continua y su interacción con el campo magnético de la Tierra da lugar a la formación de una superficie de equilibrio, la «magnetopausa», que protege la cavidad conocida como «magnetosfera» (fig 1). Esta región del espacio en la que el campo magnético de la Tierra ejerce influencias, de alguna manera, nuestro hogar en el sistema planetario. La magnetosfera nos protege de la acción del viento solar y de los rayos cósmicos y permite la existencia de la vida.

Formación y medida de las tormentas geomagnéticas

Las tormentas geomagnéticas se originan por el incremento en la densidad de plasma y en la velocidad del viento solar producido por una fulguración solar o una eyección de masa coronal orienta-

da hacia la Tierra. Estos incrementos se traducen en un aumento de la presión del viento solar sobre la magnetopausa y en la deformación de la magnetosfera^[11]. En el lado diurno la magnetopausa se acerca a nuestro planeta en la dirección Tierra-Sol, pasando de estar situada a unos 11 radios terrestres a sólo 4-5. Al mismo tiempo, la región correspondiente a la semiesfera nocturna se estrecha de manera muy compleja, de formas similar a lo que sucede a un tubo de pasta de dientes si se le comprime por su mitad. Ello provoca que se intensifique la acción del campo magnético de la Tierra para incrementar su presión sobre el viento solar y alcanzar una nueva situación de equilibrio. Todos estos fenómenos dan lugar a la tormenta geomagnética, que afecta, en mayor o menor medida, a todo el planeta. Según sea la velocidad del viento solar perturbado, su aparición tiene lugar entre uno y cuatro días después de que se haya producido el suceso violento en el Sol.

Es muy importante subrayar que no todas las eyecciones de masa coronal producen tormentas geomagnéticas en la Tierra. Para que esto suceda deben cumplirse, en general, tres condiciones: (1) que la tormenta solar sea suficientemente energética, alcanzando la clase X o valores elevados de la clase M; (2) que la eyección de masa coronal esté dirigida hacia la Tierra, lo que requiere que la región activa donde se encuentran las manchas solares en las que se inicia el proceso esté situada en la cara visible y alejada de los limbos; y (3) que la componente Bz del campo magnético interplanetario arrastrado por el viento solar sea negativa, de forma que se puedan unir las líneas de este campo con las de la Tierra (fenómeno de reconexión). Recientemente se ha puesto de relieve que las fluctuaciones del campo magnético interplanetario antes de su encuentro con la magnetopausa juegan

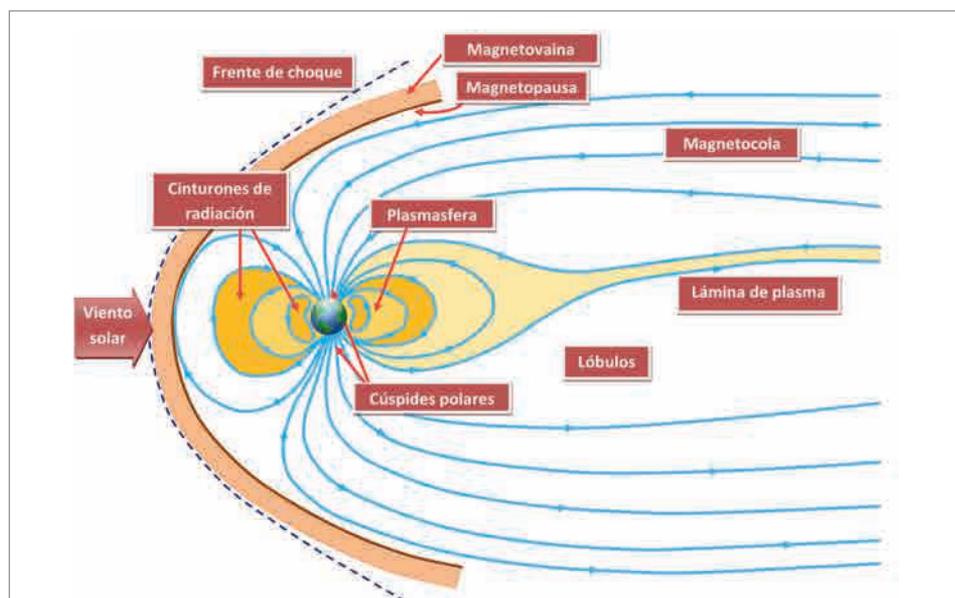


Figura 1. Estructura de la magnetosfera en equilibrio con el viento solar^[8]. En condiciones normales, la magnetopausa se sitúa a 11 radios terrestres en el sentido Tierra-Sol (a la izquierda de la imagen) y se extiende más de 80 radios terrestres en el sentido opuesto (adaptado de Cerrato *et al.*, 2012).

un papel importante, todavía no bien conocido, para que la perturbación del viento solar produzca una tormenta geomagnética.

Las condiciones señaladas explican que un incremento de actividad solar no vaya acompañado necesariamente por un incremento de tormentas geomagnéticas. Por ejemplo, las fulguraciones de los días 13-14 de mayo de 2013 citadas anteriormente no generaron tormentas geomagnéticas significativas, ya que ninguna de las eyecciones producidas estaba suficientemente orientada hacia la Tierra.

Una tormenta geomagnética se puede dividir en tres fases ^[12] (fig. 2):

- **Fase inicial.** Se caracteriza por un aumento en la densidad de líneas de campo debido al incremento de la presión del viento solar. Esto hace que el valor de la componente horizontal del campo magnético terrestre, H, aumente entre 30 y 50 nanoteslas (nT) su valor inicial antes de la tormenta. Esta variación puede durar una o dos horas, aunque en muchas tormentas no aparece.
- **Fase principal.** En ella tiene lugar una inyección de plasma energizado en el anillo de corriente ecuatorial que provoca su aumento. Ocurre de dos a diez horas después del comienzo de la tormenta y puede durar varias horas. Se caracteriza por una brusca disminución de H.
- **Fase de recuperación.** Es la etapa de regreso a la situación de equilibrio inicial. Puede durar días.

El tamaño de las tormentas geomagnéticas se mide mediante índices geomagnéticos, de los cuales los más utilizados son el índice Dst (*Disturbance Storm Time*) y los «índices trihorarios». El índice Dst es un índice de actividad magnética obtenido con una red de cuatro observatorios geomagnéticos situados cerca del ecuador magnético

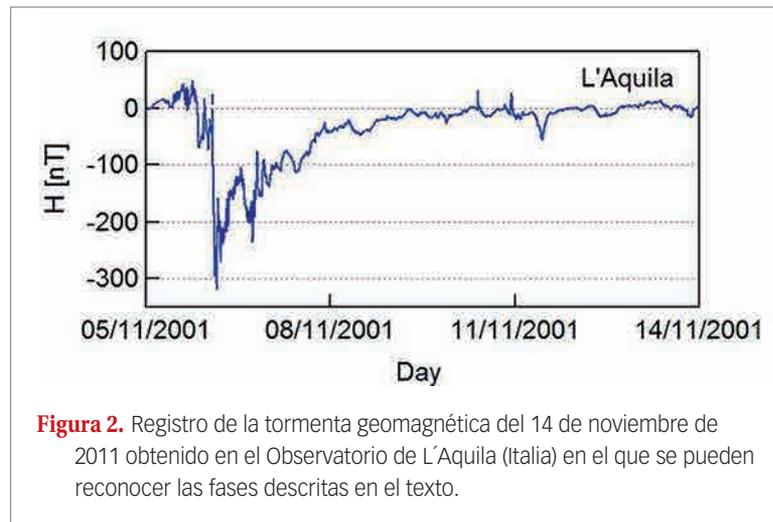


Figura 2. Registro de la tormenta geomagnética del 14 de noviembre de 2011 obtenido en el Observatorio de L'Aquila (Italia) en el que se pueden reconocer las fases descritas en el texto.

y distribuidos a lo largo del perímetro terrestre. Este índice da una medida de la variación del campo magnético debida al anillo de corriente ecuatorial y se calcula a partir de la media de los valores de la componente horizontal del campo magnético. El valor de Dst es estadísticamente cero en los días considerados tranquilos por los organismos internacionales. Durante una tormenta geomagnética su valor desciende en unas horas desde cero hasta su valor mínimo y comienza a recuperarse lentamente hasta alcanzar el valor inicial próximo a cero. Utilizando este índice las tormentas se pueden clasificar en las categorías señaladas en la tabla 1. La tabla 2 enumera las tormentas geomagnéticas ocurridas en el Ciclo 24 hasta diciembre de 2013, con su correspondiente valor de Dst. Para valorar mejor su tamaño se puede tener en cuenta que al «evento de Carrington» y a la tormenta de Quebec se les han atribuido valores de Dst iguales a -850 nT ^[13] y -640 nT ^[14], respectivamente.

Los índices trihorarios son indicadores del nivel de actividad geomagnética que tienen una resolución de tres horas, por lo que proporcionan ocho valores diarios. El principal es el índice K, introducido por Bartels en 1938 y que permi-

Tabla 1. Clasificación de las tormentas magnéticas en función del valor del índice Dst.

Categoría	Valor Dst (nT)
Débiles	$-30 \geq \text{Dst} > -50$
Moderadas	$-50 \geq \text{Dst} > -100$
Intensas	$-100 \geq \text{Dst}$

te evaluar de forma cuantitativa una perturbación magnética vinculada a la emisión corpuscular del Sol. La serie de datos se extendió después hasta 1932. Para calcular K se utilizan los magnetogramas, registros diarios del campo magnético obtenidos en los observatorios geomagnéticos. En el magnetograma se toman las componentes H y D (declinación) y se eliminan las variaciones magnéticas debidas al Sol en condiciones tranquilas y a la Luna. Después se divide el magnetograma en ocho intervalos de tres horas, se mide la amplitud de variación de H y D y el valor mayor proporciona el índice K. La escala de K varía de 0 a 9 y depende de la latitud, ya que la perturbación será mayor cuanto más cerca esté el observatorio de las zonas aurales.

El índice Kp es un indicador de alcance planetario derivado del parámetro K. Se obtiene como el valor medio de

Tabla 2. Tormentas ocurridas en el Ciclo 24 hasta diciembre de 2013

Nº.	Fecha	Dst	Nº.	Fecha	Dst	Nº.	Fecha	Dst
1	28/02/2008	-52	24	09/09	-69	47	18/01/2013	-57
2	09/03	-86	25	17/09	-70	48	26/01	-53
3	27/03	-56	26	26/09	-101	49	01/03	-52
4	04/09	-51	27	25/10	-132	50	17/03	-132
5	11/10	-54	28	25/01/2012	-75	51	21/03	-64
6	22/07/2009	-79	29	15/02	-62	52	29/03	-59
7	15/02/2010	-58	30	19/02	-54	53	24/04	-52
8	06/04	-81	31	07/03	-78	54	01/05	-76
9	12/04	-51	32	09/03	-129	55	19/05	-56
10	02/05	-66	33	12/03	-51	56	25/05	-55
11	29/05	-85	34	15/03	-80	57	01/06	-119
12	04/08	-67	35	28/03	-53	58	07/06	-71
13	05/05	-61	36	05/04	-56	59	29/06	-98
14	11/10	-80	37	24/04	-104	60	06/07	-79
15	28/12	-50	38	17/06	-86	61	14/07	-72
16	04/02/2011	-59	39	09/07	-69	62	27/08	-54
17	01/03	-81	40	15/07	-133	63	02/10	-67
18	11/03	-83	41	03/09	-78	64	09/10	-65
19	06/04	-65	42	01/10	-133	65	31/10	-52
20	12/04	-51	43	09/10	-111	66	07/11	-54
21	28/05	-91	44	13/10	-91	67	09/11	-81
22	05/07	-50	45	01/11	-74	68	08/12	-66
23	06/08	-107	46	14/11	-109			

los índices K normalizados de 13 observatorios situados entre los 44° y 60° de latitud, norte o sur. Este índice se relaciona estadísticamente con el estado energético de la magnetosfera y con el tamaño de las tormentas magnéticas dado por la NOAA, que se representa con la letra G y abarca cinco niveles (Tabla 3).

Algunas agencias internacionales inician los avisos de tormenta geomagnética cuando el índice Kp alcanza el valor 4.

Tabla 3. Clasificación de las tormentas geomagnéticas por la NOAA en función del valor del índice Kp.

Categoría	Valor de Kp	Escala NOAA
Extrema	9	G 5
Severa	8	G 4
Fuerte	7	G 3
Moderada	6	G 2
Menor	5	G 1

Metodología para el estudio de las tormentas geomagnéticas: aplicación al análisis de la tormenta del 24-25 de octubre de 2011 y su impacto en la península Ibérica

Con la finalidad de presentar con más claridad los diferentes procesos que dan lugar a una tormenta geomagnética, así como sus efectos sobre la Tierra y en particular sobre la península Ibérica, se realiza a continuación un seguimiento detallado de la tormenta que tuvo lugar los días 24-25 de octubre de 2011. Se ha elegido esta tormenta porque fue intensa (Dst = -132 nT), existen numerosos datos que facilitan su estudio y tuvo una notable influencia en el sistema de actualización EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*), un recurso

tecnológico muy importante para mejorar el funcionamiento de los sistemas de navegación GPS (*Global Positioning Service*) y GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) en Europa y África. Algunos efectos importantes de esta tormenta en el entorno terrestre han sido estudiados por Blanch *et al*^[15].

La metodología que hemos utilizado estudia sucesivamente los fenómenos en el Sol, el camino del viento solar hacia la Tierra, su interacción con el campo magnético del planeta que origina la aparición de la tormenta geomagnética, la influencia que ésta ejerce sobre la ionosfera terrestre y el efecto sobre Egnos y la seguridad del tráfico aéreo.

Inicio del fenómeno en el Sol

El proceso se inició el 22 de octubre de 2011, cuando tuvo lugar una erupción solar de magnitud M1 que alcanzó su

máximo en torno a las 11:10 UT. Esta erupción provocó una gran eyección de masa coronal que perturbó las condiciones del viento solar. La figura 3, tomada por el equipo LASCO (*Large Angle and Spectrometric Coronagraph*) a bordo del satélite SOHO (*Solar Heliospheric Observatory*), pone de relieve la magnitud del fenómeno. SOHO se sitúa en el punto L1 de Lagrange, región localizada entre el Sol y la Tierra donde las atracciones gravitatorias de ambos cuerpos se equilibran, por lo que las órbitas situadas en la zona alcanzan una mayor estabilidad gravitatoria. Esta zona dista 1.500.000 kilómetros de la Tierra.

Camino de la CME hacia la Tierra

La figura 4 muestra la predicción de la evolución en el espacio de la CME generada por la erupción solar. Para ello se ha utilizado el modelo WSA-Enlilcone de la NOAA. Como se puede observar en la figura de la izquierda, la CME, marcada en rojo, se dirige claramente hacia Marte, representado con un círculo rojo situado en la parte superior derecha, y no parece que vaya a impactar en Tierra, representada por el círculo amarillo. En el panel central se aprecia cómo seis horas

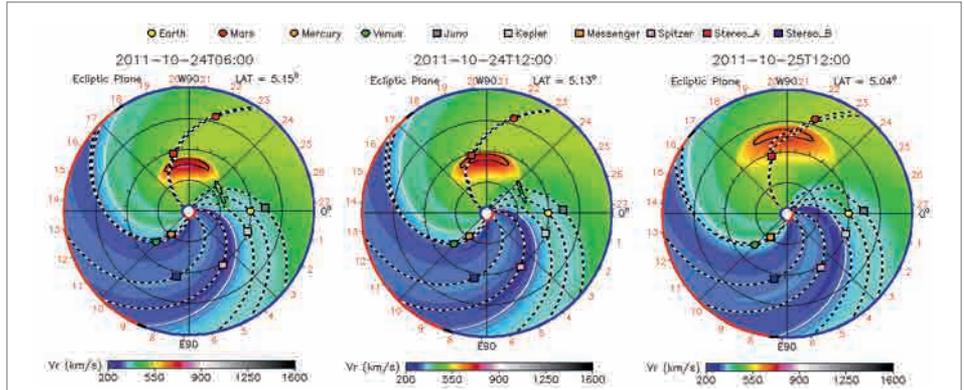


Figura 4. Predicción de la evolución de la CME generada el 24 de octubre, 2011. Adaptado de <http://www.swpc.noaa.gov/wsa-enlil/>

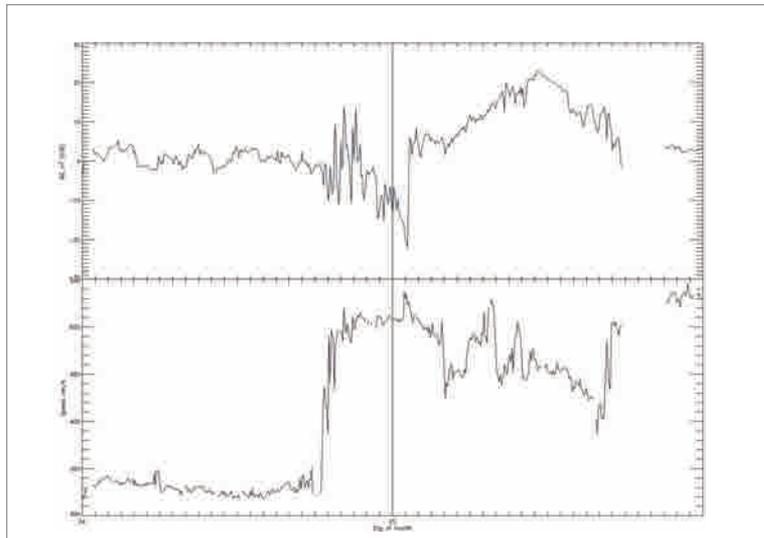


Figura 5. Valores del módulo del campo magnético, sus componentes y la velocidad del viento solar, medidas por el satélite WIND los días 24 y 25 de octubre de 2011. <http://omniweb.gsfc.nasa.gov/ow.html>

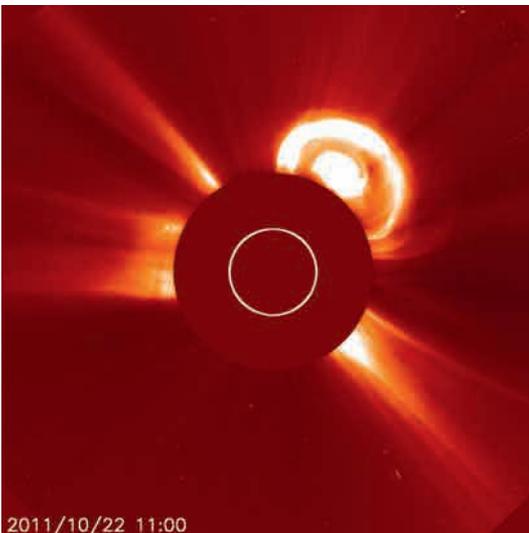


Figura 3. CME observada por el satélite SOHO. <http://sohowww.nascom.nasa.gov/spaceweather/>

más tarde alcanzaría Stereo A (pequeño cuadrado rojo), observatorio situado en una órbita alrededor del Sol, que junto con su gemelo Stereo B permite observarlo desde dos posiciones opuestas de una misma órbita y así analizar mejor la estructura y evolución de las tormentas solares. La predicción indica cómo finalmente (panel derecho) la CME acabaría impactando ligeramente la Tierra.

Durante la tarde del 24 de octubre (18:00 UT), el satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*), situado también en el punto L1 de Lagrange, detectó un incremento en el viento solar de 350 km/s a 550 km/s, que indicaba la llegada del impacto de la CME y anunciaba la posibili-

dad de una tormenta geomagnética (fig.5). Además, la componente Bz del campo magnético se orientó hacia el sur, satisfaciendo así una de las condiciones necesarias para la aparición de una tormenta geomagnética señaladas anteriormente. El satélite permite conocer las características del viento solar unos 40 minutos antes de que llegue a la Tierra. De esta manera se dispone de un tiempo muy valioso para tomar medidas que atenúen el impacto de una tormenta geomagnética.

En su viaje hacia la Tierra y ya a sólo 35.800 kilómetros de su superficie, la perturbación impacta sobre los satélites geoestacionarios GOES 13 (longitud 75°) y 14 (longitud 135°), que también

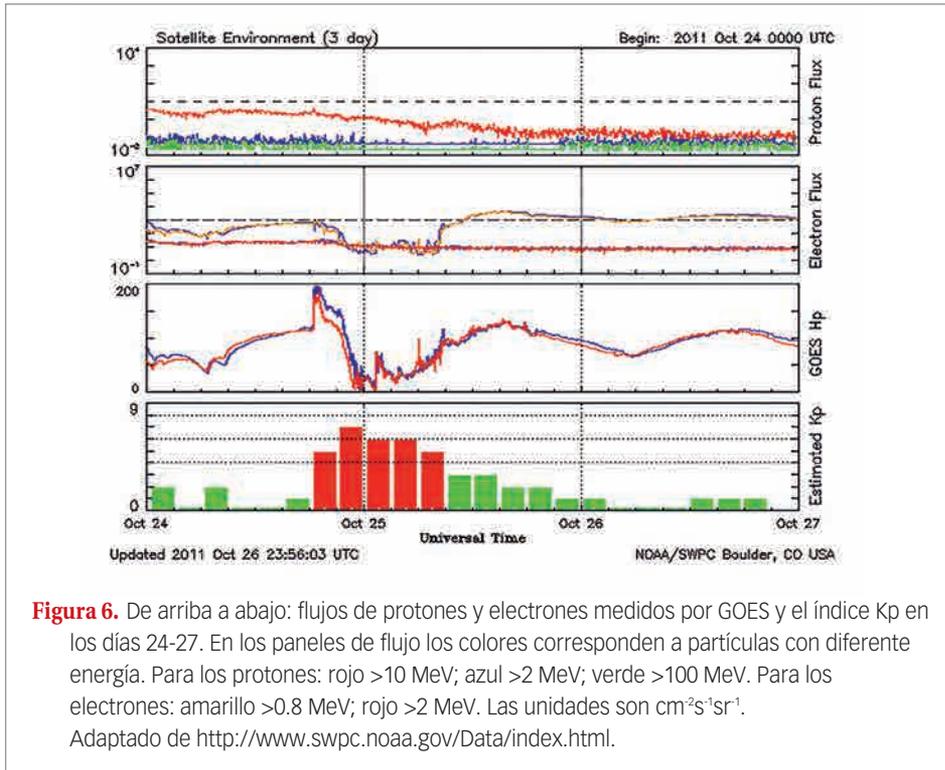


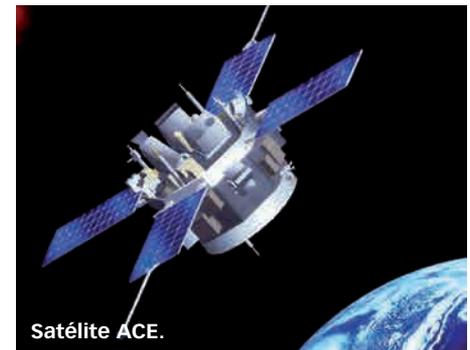
Figura 6. De arriba a abajo: flujos de protones y electrones medidos por GOES y el índice Kp en los días 24-27. En los paneles de flujo los colores corresponden a partículas con diferente energía. Para los protones: rojo >10 MeV; azul >2 MeV; verde >100 MeV. Para los electrones: amarillo >0.8 MeV; rojo >2 MeV. Las unidades son $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{sr}^{-1}$. Adaptado de <http://www.swpc.noaa.gov/Data/index.html>.

pueden evaluar las características del viento solar. La figura 6 representa el registro de los valores del flujo de protones y electrones los días 24-27 de octubre de 2011 registrados por GOES-13. En el flujo de electrones es fácilmente reconocible el cambio causado por la perturbación a partir de las 18 horas del día 24, que se prolonga hasta las 9 horas del 25. La fuerte compresión del campo magnético de la Tierra durante el impacto permite al viento solar penetrar fuerte-

mente en la magnetosfera entre las 19:06 UT y las 19:11 UT y expone los satélites geostacionarios a la acción del plasma del viento solar.

Llegada del viento solar a la Tierra. Registro de la tormenta en la península Ibérica

La llegada del viento solar perturba a la Tierra genera una tormenta geomagnética que se registra en los observatorios, afecta a la ionosfera e introduce



A las 18 horas (Tiempo Universal) del 24 de octubre de 2011, el satélite ACE (*Advanced Composition Explorer*) detectó un incremento en el viento solar que anunciaba la posibilidad de que se originase una tormenta magnética en la Tierra unos 40 minutos más tarde

errores en el posicionamiento satelital. La figura 7 muestra los magnetogramas correspondientes a los días 24 y 25 de octubre obtenidos en el observatorio de San Pablo de los Montes (Toledo). En ellos puede apreciarse que la tormenta geomagnética se inicia en la tarde del día 24 y se mantiene, al menos, durante todo el

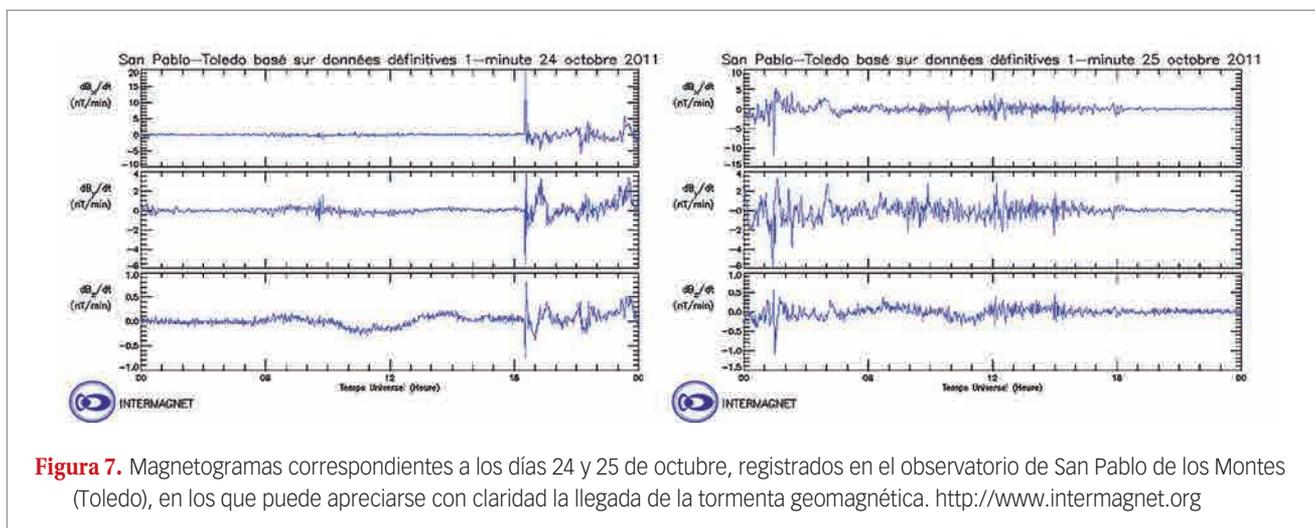


Figura 7. Magnetogramas correspondientes a los días 24 y 25 de octubre, registrados en el observatorio de San Pablo de los Montes (Toledo), en los que puede apreciarse con claridad la llegada de la tormenta geomagnética. <http://www.intermagnet.org>

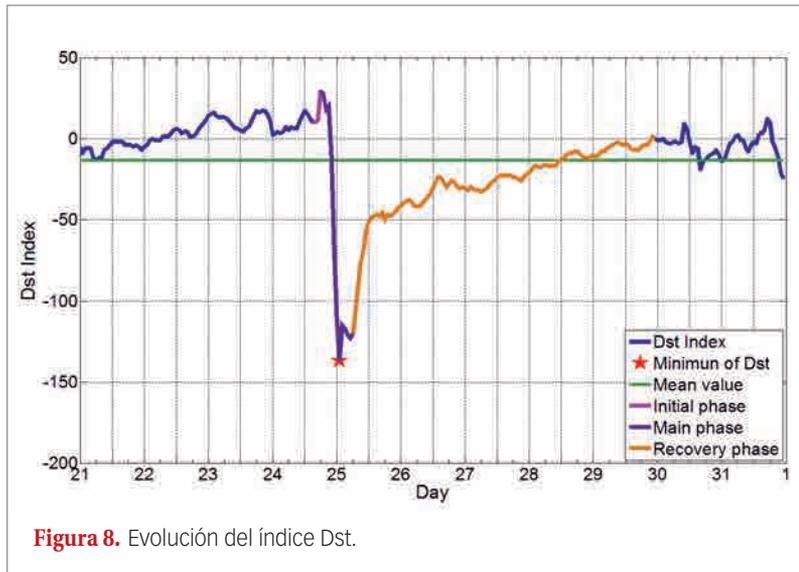


Figura 8. Evolución del índice Dst.

día 25. La figura 8, que muestra la evolución del índice Dst, pone de manifiesto que la fase inicial de la tormenta geomagnética se desarrolla entre las 15 y las 18 horas, la principal se prolonga hasta las 10 horas del día 25 y la de recuperación se extiende hasta las 23 horas del 29.

Impacto en la ionosfera sobre la península Ibérica

El impacto sobre la ionosfera (parte conductora de la atmósfera que se extiende de 60 a 2.000 kilómetros de altura) recibe particular importancia por la fuerte influencia que esta región ejerce sobre la transmisión de las ondas electromagnéticas y, por tanto, sobre las comunicaciones vía satélite [16]. Cuando este impacto provoca una notable variación en las características de la ionosfera se dice que ha dado lugar a una «tormenta ionosférica». Si la modificación supone un incremento en la densidad electrónica (número de electrones por unidad de volumen) de la ionosfera se habla de «tormenta ionosférica positiva». Si, por el contrario, el efecto es una disminución de la densidad se trata de una «tormenta negativa» [17]. En ambos casos se pueden generar importantes perturbaciones en los sistemas GNSS y en las comunicaciones.

Muchos de los centros especializados en el estudio de la meteorología espacial emiten un mensaje de alerta de tormenta geomagnética uno o dos días antes de que ésta se produzca

Este impacto ha sido estudiado de dos formas diferentes. En primer lugar se han analizado los ionogramas (registros de la ionosfera obtenidos mediante sondeos con ondas de alta frecuencia) de los días 23, 24 y 25 de octubre obtenidos en el Observatorio del Ebro y en la Estación de Sondeos Atmosféricos del Centro de Experimentación de El Arenosillo (Cedea) del INTA, en Huelva. Los resultados (la figura 9 muestra los correspondientes a El Arenosillo) ponen de manifiesto un ligero aumento de la frecuencia crítica de la capa F2, foF2 y un significativo incremento de la altura de su concentración electrónica máxima, hmF2. El aumento de foF2 es coherente con el incremento de densidad que se pondrá de manifiesto en el análisis del contenido de electrones, ya que la frecuencia del plasma es proporcional a la raíz cuadrada de la densidad electrónica. Por su parte, el incremento de altura es un fenómeno característico en las tormentas geomagnéticas cuando producen una tormenta ionosférica positiva.

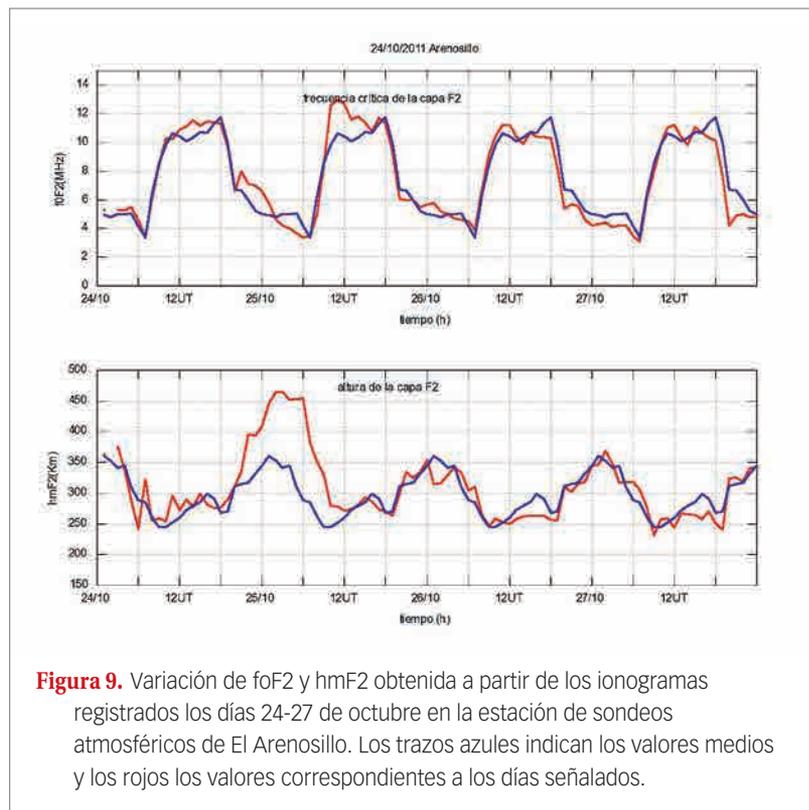


Figura 9. Variación de foF2 y hmF2 obtenida a partir de los ionogramas registrados los días 24-27 de octubre en la estación de sondeos atmosféricos de El Arenosillo. Los trazos azules indican los valores medios y los rojos los valores correspondientes a los días señalados.



Estación de Sondeos Atmosféricos del Centro de Experimentación de El Arenosillo del INTA, en Huelva.

La segunda técnica utilizada para analizar el impacto de la tormenta geomagnética en la ionosfera ha sido el estudio de la variación del Contenido Total de Electrones (TEC). Este parámetro mide el número de electrones contenidos en un cilindro de sección unidad que se extiende desde el satélite hasta el receptor; su unidad se llama TECu y equivale a 1.0^{16} electrones/ m^2 . El TEC se obtiene a partir de los retrasos en la transmisión de ondas electromagnéticas observados en las estaciones GPS. Por tanto, sus variaciones expresan cómo la ionosfera se ha visto afectada por la tormenta geomagnética, es decir, miden la importancia de la tormenta ionosférica generada. En nuestro estudio el análisis se ha reali-

Odenwald y Green (2007) han estimado en 30.000 millones de dólares las pérdidas que una tormenta similar a la de Carrington podría producir actualmente en los satélites situados en órbita geoestacionaria

zando procesando los ficheros RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) obtenidos en las estaciones que aparecen representadas en la figura 10. Para cada estación se ha calculado el TEC vertical, $vTEC$, y su valor relativo, $vTEC_{rel}$, que es la diferencia del valor en cada época dividida por valor medio mensual de los días no perturbados magnéticamente.

La expresión es:

$$vTEC_{rel_i} = \frac{vTEC_i - \overline{vTEC_i}}{\overline{vTEC_i}} \cdot 100$$

donde el subíndice i indica la estación considerada.

A partir de los resultados se han analizado las fases de las tormentas ionosféricas y su relación con las de la tormenta geomagnética. Se considera que existe

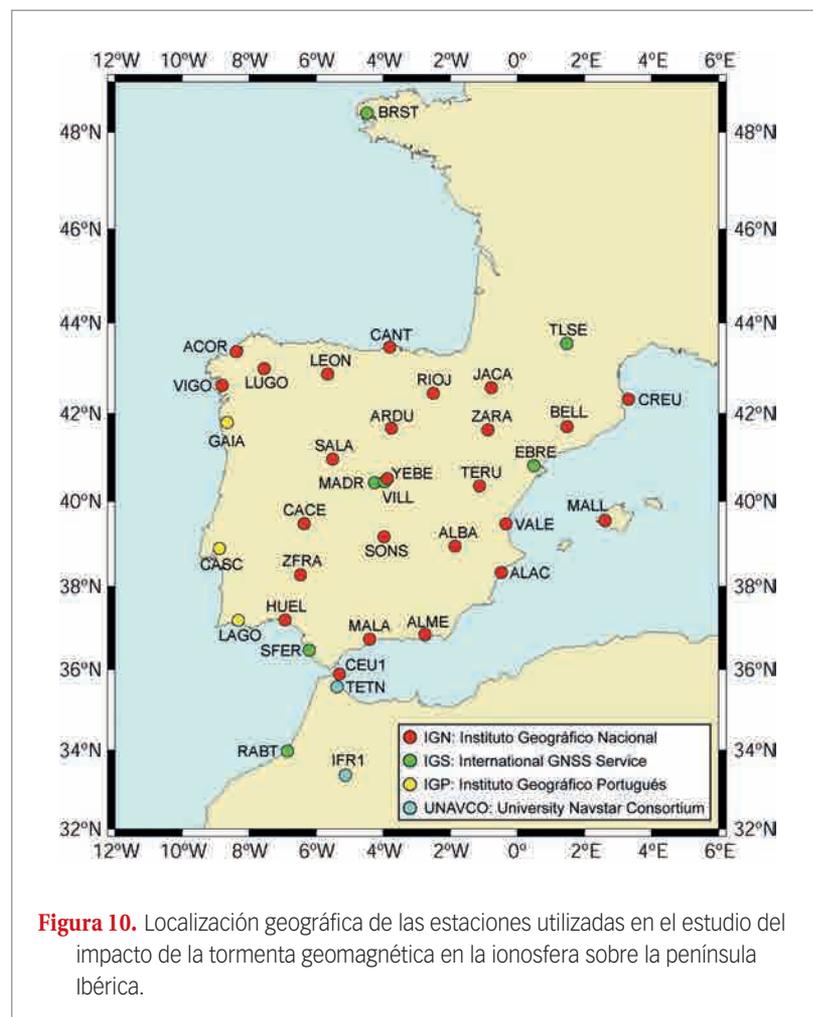


Figura 10. Localización geográfica de las estaciones utilizadas en el estudio del impacto de la tormenta geomagnética en la ionosfera sobre la península Ibérica.

una fase positiva de la tormenta ionosférica cuando la diferencia del vTEC respecto al valor medio es superior a los 10 TECus o el vTECrel supera el 50%. Por el contrario, se considera que existe una fase negativa de la tormenta ionosférica cuando la diferencia del vTEC respecto al valor medio es inferior a los -10 TECus o el vTECrel inferior a -50%. La figura 11 representa los resultados obtenidos para una selección de las estaciones distribuidas en función de la latitud. Los valores obtenidos permiten afirmar con claridad que, sobre la península Ibérica, la tormenta geomagnética ha generado una tormenta ionosférica. Además, existe una fase positiva de la tormenta ionosférica

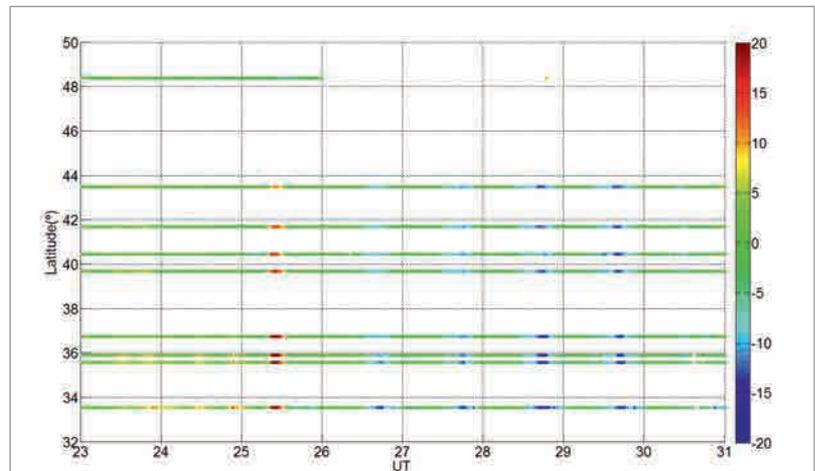


Figura 11. Diferencia de vTEC respecto al valor medio mensual para las estaciones BRST, CANT, ARDU, MADR, SONS, MALA, CEU1, TETN e IFR1 de la Figura 17 distribuidas en función de la latitud de norte a sur. La gama de colores expresa los resultados en TECus.

Tormentas geomagnéticas y ferrocarriles

Las tormentas geomagnéticas también pueden afectar al sistema ferroviario. La primera mención sobre este tipo de efectos aparece en el *New York Times* del 16 de mayo de 1921, en una noticia que vincula el fallo generalizado del sistema de señalización y control del New York Central Railroad y su posterior incendio con la ocurrencia de una tormenta geomagnética que produjo auroras visibles en la zona de Nueva York ^[1]. Posteriormente se han achacado a las tormentas geomagnéticas fallos en los sistemas de señalización ocurridos en Suecia durante la tormenta geomagnética del 13-14 de julio de 1982 ^[2] y en Rusia en numerosas ocasiones coincidentes con tormentas geomagnéticas. La explicación puede encontrarse en la aparición de voltajes imprevistos, creados por las corrientes eléctricas inducidas por las variaciones del campo magnético (GICs) generadas por la tormenta. Estos voltajes podían afectar el funcionamiento del sistema de señalización alterando la activación de indicaciones de vía libre y vía ocupada ^[3,4,5].

Parece conveniente prestar atención a este tipo de fenómenos si se considera la propuesta de trenes de alta velocidad (donde las medidas de seguridad deben ser mucho más exigentes) para zonas de alta latitud geográfica como el norte de Rusia, Suecia, Noruega o Finlandia.



- [1] Odenwald, S. Newspaper reporting of space weather: End of a golden age. *Space Weather*, 2007, (5) S11005. doi:10.1029/2007SW000344.
- [2] Wik, M; Pirjola, R; Lundstedt, H; Viljanen, A; Wintoft, P; Pulkkinen, A. Space weather events in July 1982 and October 2003 and the effects on geomagnetically induced currents on Swedish technical systems. *Annales Geophysicae*, 2009, (27) 1775-1787.
- [3] Eroshenko, EA; Belov, AV; Boteler, D; Gaidash, SP; Lobkov, SL; Pirjola, R; Trichtchenko, L. Effects of strong geomagnetic storms on Northern railways in Russia. *Adv. Space Res.*, 2010, (46) 1102-1110. doi:10.1016/j.asr.2010.05.017.
- [4] Kasinskii, V; Ptitsyna, NG; Lyahov, NN; Tyasto, MI; Lucci, N. Effect of Geomagnetic Disturbances on the Operation of Railroad Automated Mechanisms and Telemechanics. *Geomagnetism and Aeronomy*, 2007, (47) 676-680. doi:10.1134/S0016793207050179.
- [5] Ptitsyna, NG; Kasinskii, VV; Villaresi, G; Lyahov, NN; Dorman, LI; Lucci, N. Geomagnetic effects on mid-latitude railways: A statistical study of anomalies in the operation of signaling and train control equipment on the East-Siberian Railway. *Advances in Space Research*, 2008, (42) 1510-1514. doi:10.1016/j.asr.2007.10.015.

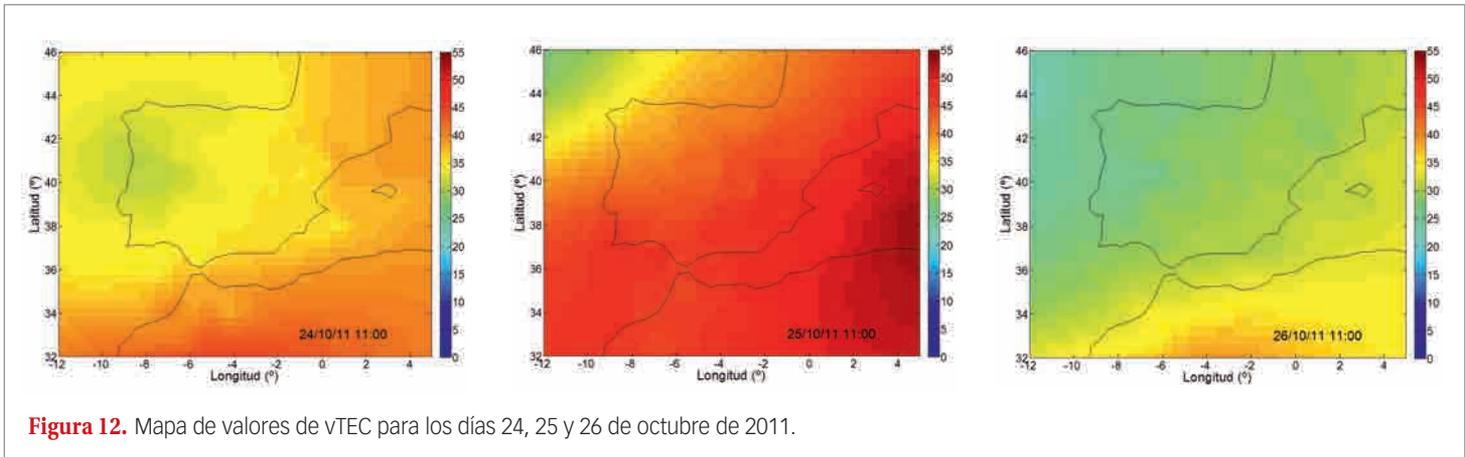


Figura 12. Mapa de valores de vTEC para los días 24, 25 y 26 de octubre de 2011.

correspondiente a la fase inicial de la tormenta geomagnética que es apreciable solo en las latitudes más bajas, y otra con el mismo signo, entre la fase principal y el inicio de la fase de recuperación de la tormenta geomagnética. También aparece una serie de cuatro fases negativas de la tormenta ionosférica durante la fase de recuperación de la tormenta geomagnética. En las dos fases positivas se observa una fuerte dependencia del valor de la variación máxima con la latitud. Este efecto también se da en la duración de estas fases, aunque la diferencia es menos significativa. En las fases negativas el efecto latitudinal es menos destacable.

Para profundizar en el análisis de la perturbación sobre la península Ibérica se ha realizado también un estudio de la evolución temporal de los valores de TEC asociados al IPP. Se conoce con este nombre al punto en el que la señal satélite-receptor intersecta con la ionosfera, que se supone concentrada a una altura de 350 kilómetros. Los mapas de IPP son mapas regionales o globales que representan los valores de TEC en estos puntos. Para obtenerlos, se calcula primero el vTEC en los IPP donde tenemos información. Este cálculo se ha realizado cada minuto en los días analizados para las estaciones de la península Ibérica y con cinco satélites de media para cada época. De estos datos se han seleccionado los de mayor interés para este análisis y, a partir de ellos, se han dibujado los mapas mediante una inter-

polación con el método Kriging utilizando un mado de $0,4^\circ \times 0,4^\circ$. Para escoger el mado se hicieron varios ensayos, obteniéndose los resultados óptimos con la distancia mencionada. La figura 12 representa los mapas correspondientes a las 11 horas de los días 24, 25 y 26, hora en las que la variación de vTEC alcanza valores importantes. En ellos se observa con claridad el aumento de vTEC que se produce en la tormenta ionosférica.

■ Efectos en el posicionamiento y los servicios con EGNOS

El efecto tecnológico de mayor interés producido por esta tormenta fue la

perturbación introducida en el funcionamiento de EGNOS, sistema desarrollado para mejorar las prestaciones de GLONASS, GPS y Galileo en Europa y África. Este efecto se concretó en la degradación del Servicio APV-1 (*Approach with Vertical Guidance*), que asegura una exactitud en la posición determinada con señales GNSS de 16 metros en el plano horizontal y de 20 metros en la dirección vertical. Incluye dos tipos de información clave: HPL-VPL (*Horizontal and Vertical Protection Levels*) y HAL-VAL (*Horizontal and Vertical Alert Limits*).

La figura 13 muestra el nivel de confianza correspondiente al día 23 de oc-

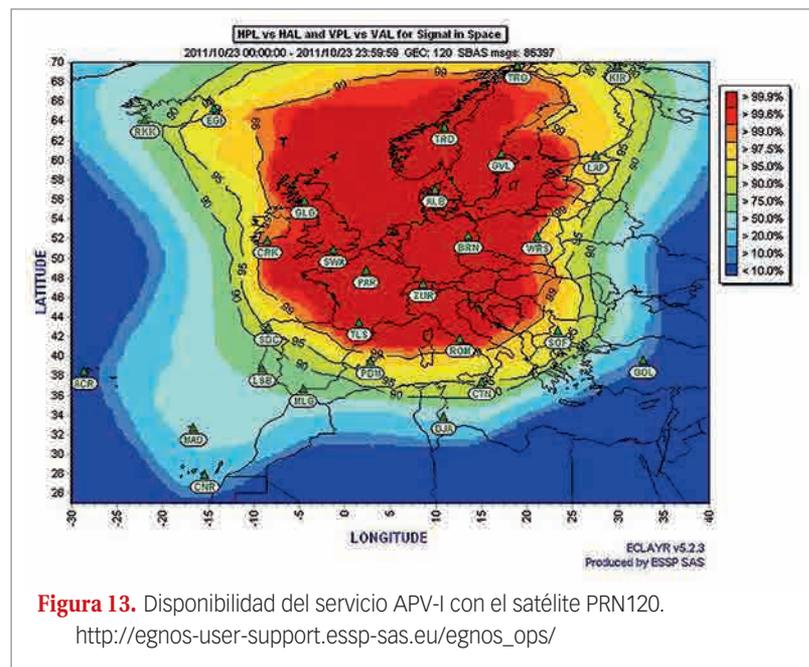


Figura 13. Disponibilidad del servicio APV-1 con el satélite PRN120.
http://egnos-user-support.essp-sas.eu/egnos_ops/

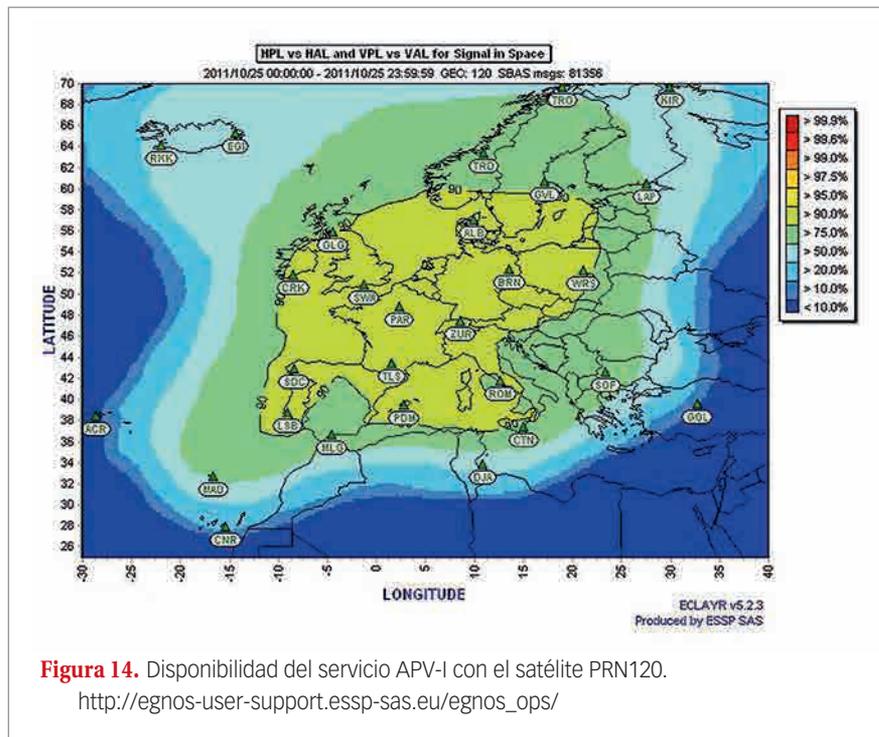


Figura 14. Disponibilidad del servicio APV-I con el satélite PRN120.
http://egnos-user-support.essp-sas.eu/egnos_ops/

tubre con el que el HPL y VPL se encuentran dentro de los límites de alarma (HAL, VAL) para el satélite EGNOS PRN120. Puede observarse un nivel del 99% en casi toda Europa y superior al 75% sobre la península Ibérica. Por efecto de la tormenta, esta región se reduce el día 24 y desaparece por completo el 25 (fig. 14). Los días 26 y 27 se recuperan los niveles de confianza previos a la fase principal de la tormenta, lo que confirma el efecto de la tormenta geomagnética.

Diseño de un protocolo de alerta

Con objeto de disminuir los efectos de las tormentas geomagnéticas, se ha prestado una atención particular a la detección temprana del fenómeno. Para ello, el estudio se ha enfocado desde dos vías distintas. Por una parte, se ha planteado una línea de investigación que pretende sacar partido de la secuencia temporal de los fenómenos que conducen a

la tormenta geomagnética, la cual se ha descrito cuidadosamente para el caso de la tormenta del 24-25 de octubre de 2011. Esta es la orientación que siguen los centros especializados en el estudio de la Meteorología Espacial, muchos de los cuales emiten un mensaje de alerta de tormenta uno o dos días antes de que ésta se produzca^[18]. Se trata, por tanto, de una línea predictiva de gran interés práctico. La segunda vía se centra en los efectos en la ionosfera y se refiere a la prevención de efectos perturbadores una vez que la tormenta ionosférica se ha producido. El objetivo no es predecir la ocurrencia de una tormenta ionosférica, sino anunciar su presencia con la prontitud suficiente para que se puedan conocer los fallos que la situación pue-

de estar induciendo en las comunicaciones, la navegación o el posicionamiento.

Para ello se ha desarrollado el Sistema de Información Rápida de Perturbaciones Ionosféricas para la península Ibérica y el sur de Europa que se describe a continuación. Este sistema se activa de manera manual al recibir una alerta de alguno de los centros mencionados anteriormente. En un futuro próximo se implementará para que sea un proceso automático. Una vez activado, el sistema se mantiene en funcionamiento durante 10 días para asegurar el estudio de todo el periodo perturbado. El programa realiza automáticamente las siguientes operaciones:

- Descarga los RINEX y los archivos de navegación de las 16 estaciones GNSS seleccionadas (fig. 15) para el día de la posible alerta y cada uno de los 10 días anteriores.
- Procesa los archivos con el método explicado anteriormente para obtener el vTEC en cada época, para cada día y estación.
- Calcula el valor del vTEC medio de los 10 días previos y el vTECrel. Estos datos se almacenan en formato gráfico para su posterior revisión. Se aplica un filtrado en los valores del vTECrel para evitar datos erróneos que activen el sistema de aviso sin que exista perturbación. Este filtrado consiste en la eliminación de las épocas en las que el vTECrel sufre cambios bruscos en épocas contiguas.
- Contrasta el valor del vTECrel con el valor umbral ($\pm 50\%$) y en caso de su-

El objetivo del sistema desarrollado no es predecir la ocurrencia de una tormenta ionosférica, sino anunciar su presencia con la prontitud suficiente para que se puedan conocer los fallos que la situación puede estar induciendo en las comunicaciones, la navegación o el posicionamiento

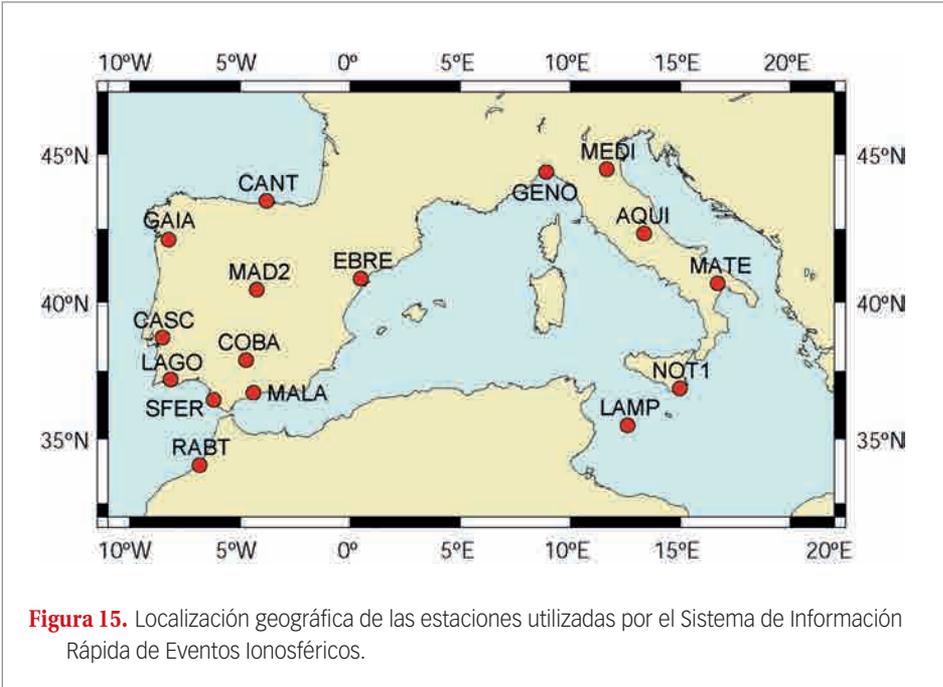


Figura 15. Localización geográfica de las estaciones utilizadas por el Sistema de Información Rápida de Eventos Ionosféricos.

Conclusiones

Las tormentas geomagnéticas son procesos naturales que afectan a toda la Tierra, inducen fenómenos físicos importantes, como la aparición de auroras, el aumento de la radiación, la generación de GICs y las tormentas ionosféricas y, si son muy intensas, pueden provocar un gran impacto en muchos recursos tecnológicos que sustentan nuestra vida cotidiana. Los daños en satélites, líneas de transmisión de energía eléctrica, sistemas de navegación y ferrocarriles que una gran tormenta magnética es capaz de generar pueden producir

perarlo en, al menos, el 50% de las estaciones, se emite el mensaje de aviso. Este mensaje puede ser utilizado por los usuarios para tomar las medidas preventivas oportunas.

El esquema del sistema aparece resumido en la figura 16. Para comprobar su validez, se ha aplicado el Sistema de Información a cinco tormentas que tuvieron lugar en diciembre de 2006, octubre de 2011, enero de 2012, abril de 2012, y julio de 2012. Para realizar la verificación se han estudiado 24 días en torno a la fecha en la que se alcanza el valor mínimo del índice Dst y se han comparado los días en los que se emite el mensaje de aviso con los días con tormenta ionosférica. Estas pruebas han proporcionado un resultado correcto en un 77,18% de los días estudiados. En general, de 29 días con tormenta ionosférica, se habrían emitido mensajes de aviso de perturbación en 23 de ellos, y en solo 21 de los 89 días sin perturbación se habría emitido un mensaje de aviso innecesario. Estos resultados indican la validez del sistema, que próximamente será dotado de una mayor rapidez de ejecución y puesto a disposición de los usuarios a través de internet.

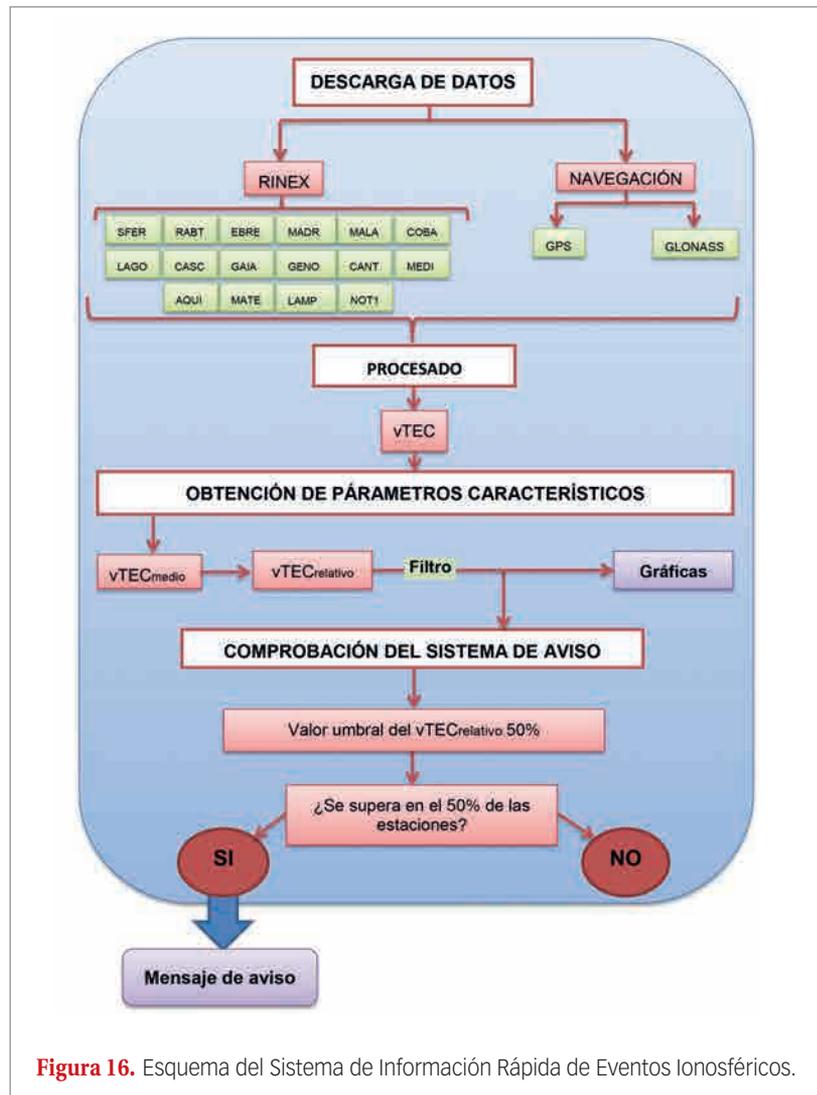
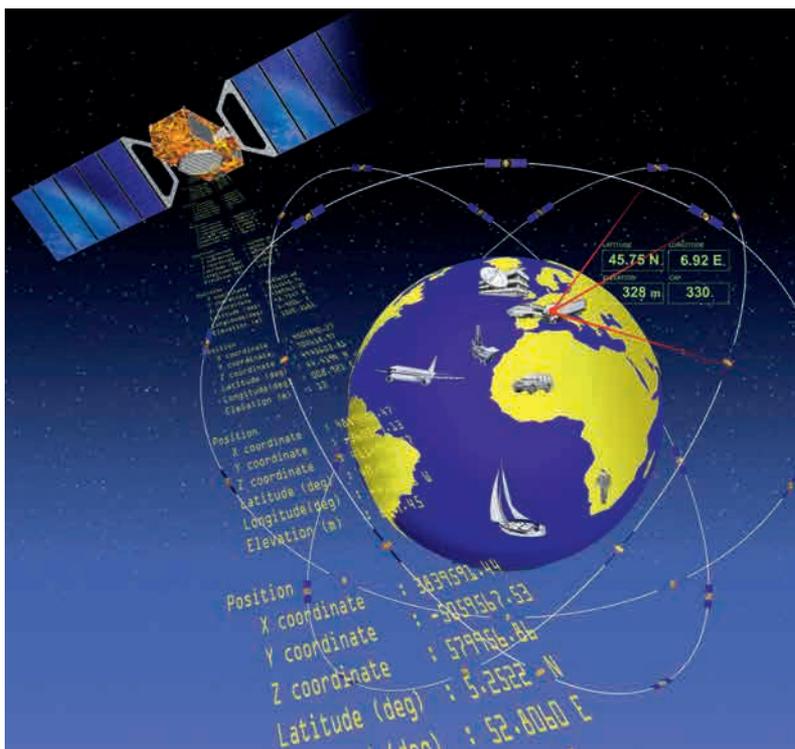


Figura 16. Esquema del Sistema de Información Rápida de Eventos Ionosféricos.

Las pruebas del sistema desarrollado han proporcionado el resultado correcto en un 77,18% de los días estudiados, lo que indica su validez

pérdidas económicas gigantescas y alterar el funcionamiento de nuestra sociedad, creando multitud de problemas de dimensiones inimaginables. Es por tanto imprescindible prestar a este riesgo natural la debida atención, fomentar su estudio y transmitir a la sociedad la importancia de estar preparados para hacerle frente.

Los notables avances realizados en la meteorología espacial, algunos de los cuales han sido presentados en este artículo, permiten hoy alertar con un tiempo de 30-40 minutos, de la llegada de una perturbación en el viento solar a la Tierra que puede producir una tormenta geomagnética. Este margen de tiempo da la oportunidad de adoptar muchas medidas protectoras para los ciudadanos y los bienes materiales, siempre que



la sociedad haya sido convenientemente formada para ello. Por ello, la toma de conciencia de esta amenaza por parte de autoridades, instituciones, educadores y medios de comunicación, a la que este trabajo ha querido contribuir, debe ir acompañada por una constante labor formativa en este tema. ♦

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado gracias a una Ayuda a la Investigación concedida por FUNDACIÓN MAPFRE.

Los autores desean expresar su agradecimiento a Eduardo Sánchez Díaz por su colaboración en el proyecto que ha dado lugar a este artículo y a los organismos IGS, EUREF, Intermagnet, Omniweb y WDC for Geomagnetism (Kyoto) por las facilidades para el acceso a datos y recursos informáticos.

Referencias

- [1] González, WD; Joselyn, JA; Kamide, Y; Kroehl, HW; Rostoker, G; Tsurutani, BT; Vasyliunas, VM. What is a geomagnetic storm? *Journal of Geophysical Research*, 1994, (99) 5771-5792.
- [2] Carrington, RC. Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1859, (20) 13-15.
- [3] Hodgson, R. On a curious appearance seen in the Sun. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 1859, (20) 15-16.
- [4] Green, J; Boardsen, S. Duration and extent of the great auroral storm of 1859. *Adv. Space Res.* 2006, (38) 130-135.
- [5] Boteler, DH. The super storms of August/September 1859 and their effects on the telegraph system. *Adv. Space Res.*, 2006, (38) 159-172.
- [6] Hapgood, MA. Towards a Scientific Understanding of the Risk from Extreme Space Weather. *Adv. Space Res.*, 2006, doi:10.1016/j.asr.2010.02.007.
- [7] Riley, P. On the probability of occurrence of extreme space weather events, *Space Weather*, 2012, (10), doi: 10.1029/2011sw000734.
- [8] Kataoka, R. Probability of occurrence of extreme magnetic storms, *Space Weather*, 2013, (11) doi:101002/swe.20044.
- [9] Odenwald, S; Green, J; Taylor, W. Forecasting the impact of an 1859-calibre superstorm on satellite resources. *Adv. Space Res.* 2007, (38) 280-297.
- [10] Aguado, J. Recuperación de la magnetosfera terrestre tras sucesos solares geoeffectivos. Tesis doctoral, Universidad de Alcalá, 2010.
- [11] Buonsanto, MJ. Ionospheric storms-a review, *Space Science Reviews*, 1999, 88: 563-601.
- [12] Parkinson, W.D. Introduction to Geomagnetism, Scottish Academic Press, 1983.
- [13] Siscoe, G; NU. Crooker and CR. Clauer, Dst of the Carrington storm of 1859, *Adv. Space Res.* 2006, (38) 173-179.
- [14] Lakhina, GS; S. Alex; BT. Tsurutani y WD. González. Research on Historical Records of Geomagnetic Storms, *Proceedings IAU Symposium No. 226, 2005 International Astronomical Union*, doi:10.1017/S1743921305000074.
- [15] Blanch, E; Marsal, S; Segarra, A; Torta, JA; Altadill, D; Curto, JJ. Space weather effects on Earth's environment associated to the 24-25 October 2011 geomagnetic storm. *Space Weather*, 2013, (11) 153-168.
- [16] Kelley, M. The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics, 2nd ed., 2009, Academic Press, Amsterdam.
- [17] Mendillo, M; Storms in the ionosphere: Patterns and processes for total electron content, *Rev. Geophys.* 2006, 44, 2 RG4001, doi:10.1029/2005RG000193.
- [18] Saiz, E; C. Cid; Y. Cerrato, Forecasting intense geomagnetic activity using interplanetary magnetic field data. *Annales Geophysicae*. 2008, (26), 3989-3998.
- [19] Cerrato, Y., E. Saiz, C. Cid, 2012, Terrestrial Magnetosphere, in *Advances in Solar and Solar-Terrestrial Physics*, Editors: Georgeta Maris and Crisan Demetrescu, 177-206, ISBN: 978-81-308-0483-5.

Servicio de Información del Centro de Documentación

El Servicio de Información del Centro de Documentación (**SIC**) ofrece:

- I Un **Catálogo web** permanentemente actualizado, compuesto por más de 124.000 documentos en soporte electrónico, muchos de ellos accesibles a texto completo. Las **Novedades bibliográficas** se actualizan automáticamente mediante la tecnología RSS.
- I Una **Sala de Lectura** abierta al público de 9'00 h a 18'00 h. ininterrumpidamente.
- I Una **Atención personalizada** a cualquier consulta o solicitud de información realizada personalmente, por teléfono o a través de nuestro Catálogo web.



www.fundacionmapfre.com/documentacion



Las medidas de seguridad y protección radiológica en instalaciones de láseres intensos son un tema de importancia extrema que debe ser abordado por los organismos competentes. En este trabajo se detallan los protocolos necesarios para la aplicación de la normativa básica sobre radiación ionizante del personal expuesto en el Centro de Láseres Pulsados (CLPU), el laboratorio de referencia en España de láseres pulsados de femtosegundos.

PROTOCOLOS DE

PROTECCIÓN RADIOLOÓGICA

EN INSTALACIONES DE

láseres intensos

Por **F. FERNÁNDEZ**. Universidad de Salamanca y Director del presente proyecto. **L. ROSO**. Universidad de Salamanca y Director del CLPU. **A. IZQUIERDO**. Sociedad de Prevención de FREMAP. **J. CARRETERO**. Sociedad de Prevención de FREMAP. **S. MORETÓN**. Sociedad de Prevención de FREMAP. **G. HERNÁNDEZ**. CLPU y Becario del presente proyecto. **J.M. ÁLVAREZ**. CLPU, Coordinador del presente proyecto.

Los láseres de baja intensidad no han sido relevantes en el pasado en lo que a protección radiológica se refiere. Sin embargo, conforme el desarrollo de la tecnología láser ha permitido alcanzar intensidades mayores, se ha puesto de manifiesto la necesidad de considerar la potencialidad de los láseres para generar radiación ionizante. Cuando se focaliza un pulso láser intenso

sobre un blanco (sólido o gaseoso), el campo electromagnético del láser es capaz de ionizar los átomos del material mediante mecanismos que no aparecen en los láseres comunes, produciendo un plasma de electrones. Estos electrones pueden producir a su vez, por interacción con la materia del blanco, protones, neutrones o radiación X/gamma por *Bremsstrahlung* (radiación de frenado).



Latinstock

Para saber si un láser es una fuente de radiación ionizante hay que considerar, además de la intensidad, parámetros como longitud de onda, duración del pulso o naturaleza del blanco

Las emisiones de este tipo de radiaciones hacen imprescindible el establecimiento de protocolos de protección radiológica en instalaciones de láseres intensos.

Definir la frontera a partir de la cual un sistema láser deba ser considerado fuente de radiación ionizante no es sencillo, pues si bien la intensidad del láser es uno de los parámetros más relevan-

tes, también deben ser considerados otros parámetros: la longitud de onda del láser (energía de los fotones), la duración del pulso y la naturaleza del blanco. La Figura 1 muestra un esquema de la región de riesgo radiológico en función de la intensidad del láser (para una longitud de onda de 800 nanómetros) y la densidad del blanco sobre el que se focaliza. En principio, una intensidad de

10^{16} W/cm² podría llegar a generar electrones de keV, por lo que eso podría ser la entrada a la zona de riesgo que debe ser considerada para protección radiológica.

Las medidas de seguridad y protección radiológica en instalaciones de láseres intensos es un tema de extrema importancia que debe ser abordado por los organismos competentes en materia de seguridad y protección radiológica, tanto nacionales –Consejo de Seguridad Nuclear (CSN)– como internacionales –International Atomic Energy Agency (IAEA), International Commission on Radiological Protection (ICRP), International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU)–. En este trabajo se presentan los protocolos necesarios para la aplicación de la normativa básica relativa a la radiación ionizante (RI) de los trabajadores expuestos, los trabajadores no expuestos, los usuarios y los miembros del público en general, en una instalación de láseres intensos. En particular, el estudio se ha centrado en el

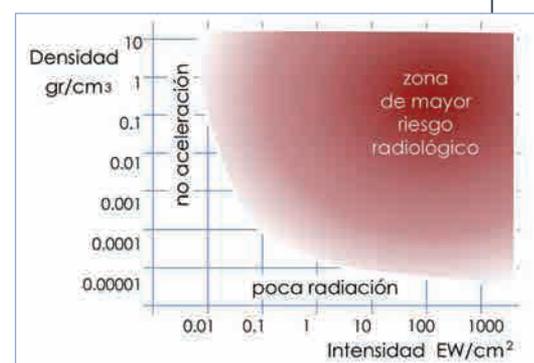


Figura 1. Esquema de la región de riesgo radiológico en función de los dos parámetros más relevantes: la intensidad del láser (con longitud de onda de 800 nanómetros) y la densidad del medio sobre el que se focaliza. Es evidente que si el blanco es de densidad muy baja apenas hay átomos con los que interaccione en el volumen focal y por ello no se genera radiación. La escala horizontal está en exavatios (10^{17} W) por cm².

Centro de Láseres Pulsados (CLPU) por ser el laboratorio de referencia en España de láseres pulsados de femtosegundos con potencias de pico a nivel de gigavatios, teravatios y petavatios.

Centro de Láseres Pulsados Ultracortos Ultraintensos (CLPU) de Salamanca

El CLPU¹ se encuentra en el edificio M5 del Parque Científico de la Universidad de Salamanca, ubicado en el término municipal de Villamayor (Salamanca). El Consorcio, formado por el Ministerio de Economía y Competitividad (anteriormente Ministerio de Educación y Ciencia), la Junta de Castilla y León y la Universidad de Salamanca, es el responsable del diseño, la construcción, el equipamiento y la explotación del centro. El objetivo de esta instalación es dar servicio internacional a la comunidad científica e industrial, proporcionando acceso a los más sofisticados láseres de alta potencia, así como asistencia científico-técnica a través de colaboraciones.

La línea principal del CLPU es un sistema láser de titanio: zafiro de 1 PW (5 J/30 fs, longitud de onda central en torno a 800 nm) operando a una tasa de repetición de hasta 1 Hz. Esta línea está dividida en tres fases de potencia creciente que pueden utilizarse simultáneamente, ofreciendo una escala de pulsos láser para las diferentes aplicaciones.

■ Fase 1: Láser VEGA-1 de 20 teravatios (500m J/25 fs), con frecuencia de repetición de 10 disparos por segundo (10 Hz).

■ Fase 2: Láser VEGA-2 de 200 teravatios (5 J/25 fs), con frecuencia de repetición de 10 disparos por segundo (10 Hz).

■ Fase 3: Láser VEGA-3 de 1 petavatio (30 J/25 fs), con frecuencia de repetición de 1 disparo por segundo (1 Hz).

Aunque la línea principal del CLPU sea el láser VEGA, con potencias pico de teravatios y petavatio, el centro dispone de otros sistemas láser que también ponen al servicio de la comunidad científica y técnica. Entre ellos un láser de gigavatio con una frecuencia de repetición de 1.000 disparos por segundo (1 kHz). Realizamos a continuación una breve exposición, en el contexto de la radioprotección, de estos sistemas láser de alta intensidad.

Sistemas láser de gigavatio

La potencia de una central eléctrica está en torno al gigavatio. Sin embargo, aunque pueda parecer paradójico, este tipo de sistemas podrían ser considerados en la actualidad de moderada intensidad. La tecnología en este campo está avanzando tanto que los sistemas láser de decenas de gigavatios empiezan a ser relativamente comunes. Se estima que en la actualidad hay unos 20 sistemas en ese rango de parámetros operativos en España. La radiación ionizante producida en este tipo de sistemas, compuesta por electrones y rayos X, ha sido estudiada para la interacción con blancos metálicos sólidos en el estudio previo elaborado con un proyecto de FUNDACIÓN MAPFRE (Fonseca, 2011). A pesar de la poca radiación que pueda llegar a generarse por disparo, la elevada tasa de repetición de estos sistemas láser (mucho mayor que los de potencia extrema) hace que puedan llegar a ser potencialmente peligrosos. Existen en la actualidad sistemas que buscan aumentar la tasa de repetición hasta los 10 kHz o incluso más.

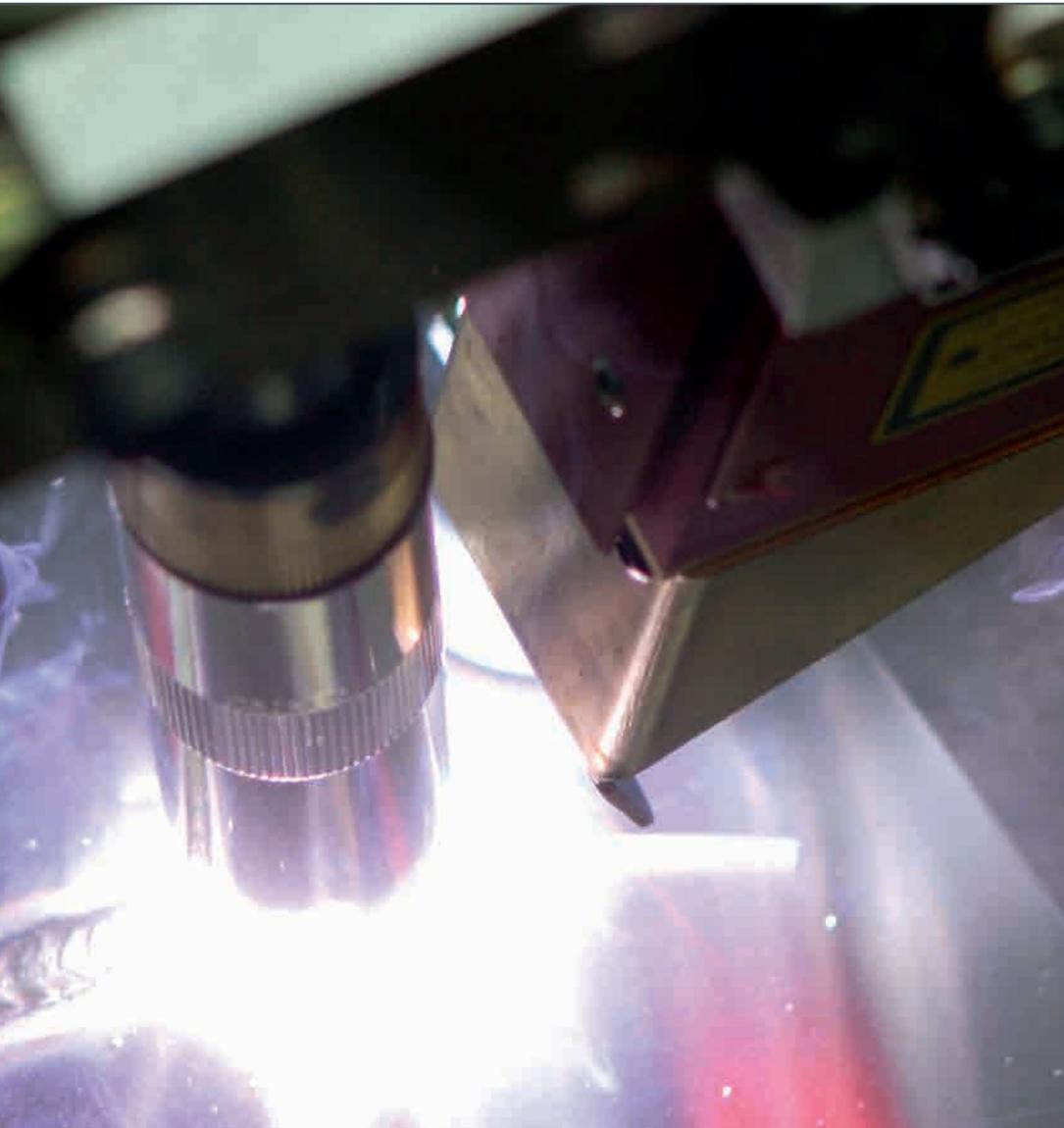
Sistemas láser de teravatio

Hace relativamente pocos años, el teravatio de potencia pico se veía como una potencia monstruosa, no en vano es del



orden de magnitud de la potencia eléctrica de toda Europa, inviable en un laboratorio de tamaño medio. La llegada de la tecnología CPA (*Chirped Pulse Amplification*) cambió radicalmente el panorama. Ahora los sistemas CPA están ya muy extendidos, son relativamente robustos y están abriendo muchas aplicaciones. Evidentemente, tener un láser de teravatio no representa ningún problema de consumo eléctrico descomunal porque el sistema es pulsado y el consumo de esta gran potencia se produce en tiempo muy reducido. En la actualidad los sistemas comerciales de teravatio (1 TW = 30 mJ/30 fs = 100 mJ / 100 fs) funcionan a tasas de repetición del orden de

(1) www.clpu.es



Latinstock

El objetivo del CLPU es dar servicio internacional a la comunidad científica e industrial, proporcionando acceso a láseres de alta potencia y asistencia científico-técnica

10 disparos por segundo (10 Hz). Hay algún sistema que llega a los 100 Hz y se están considerando sistemas que disparan a kHz. Son, en cualquier caso, sistemas de pocos vatios de potencia media.

Hemos visto que los sistemas de gigavatio ya pueden necesitar protección radiológica cuando se realiza una focalización extrema sobre un material. Por tanto, si aumentamos la potencia pico la necesidad de protección es más evidente. Una revisión bibliográfica de los estudios experimentales realizados en instalaciones de láseres de alta intensidad y publicados en los últimos años pone de manifiesto

esta evidencia. En un estudio realizado en el *Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses* (LULI), de París, un láser de 100 TW fue focalizado en diversos blancos (aluminio, oro y teflón) con intensidades que variaron entre 10^{17} y 10^{19} W/cm² (Borne, Delacroix, Gelé, Massé, & Amiranoff, 2002). En una serie de 150 disparos se detectaron niveles relevantes de rayos X, radiación gamma y neutrones, no encontrándose indicios de activación de los materiales circundantes. La radiación gamma emitida se correspondía con una radiación de energía media del orden de 700 keV, aunque la presencia de neutro-

nes producidos en reacciones fotonucleares sobre el aluminio y el oro sugiere la existencia de radiación gamma de mayor energía.

Las dosis medidas en la proximidad de la cámara de interacción (menos de 2 m de distancia) alcanzaban valores de entre 50 y 75 mSv. Estas dosis exceden el límite anual de exposición. La dosis equivalente de neutrones es 100 veces menor que la producida por radiación gamma. También se ha comprobado que la radiación se emite en un cono de 60° de apertura.

Sistemas láser de petavatio

Un petavatio es una potencia extraordinariamente alta y representa actualmente la frontera de la tecnología láser a nivel mundial. Aunque hay algunos sistemas de 10 petavatios en diseño, están todavía lejos –según nuestra información– de ser realidad y de poder servir para usos experimentales.

Existen varios sistemas de petavatio sub-picosegundo. Algunos de los pioneros se basaban en cristales con una frecuencia de disparo bajísima (pocos pulsos al día). Se puede obtener una información actualizada en el registro internacional de láseres intensos publicado por International Committee on Ultra-High Intensity Lasers (ICUIL)⁽²⁾.

Para estos sistemas láser, no existe bibliografía que analice de forma sistemática los riesgos radiológicos. No obstante, en los documentos de *commissioning* del láser de petavatio Vulcan (Allot *et al.* 2000; J. D. & R.D. 2006), se puede obtener la siguiente información: para intensidades de 10^{20} W/cm² focalizadas sobre un blanco sólido se generan electrones con una energía promedio de 39 MeV, lo que produce a 1 m una dosis de radiación gamma por disparo de 0.17 mSv/J. En el régimen de 10^{21} se espera que la do-

(2) <http://www.icuil.org/events-a-activities/laser-labs.html>

sis sea de 0.6 mSv/J, lo que extrapolado a un año da lugar a una dosis de 70 Sv/año. La radiación se emite predominantemente en un cono de 40° de amplitud. No se especifica la dosis de neutrones, la cual se espera que sea importante para estas energías, así como la debida a procesos de activación.

Estimación de los niveles de radiación en el CLPU

El CLPU, como instalación radiactiva (IR), se ha propuesto el objetivo de que todas las zonas contiguas a la zona experimental sean de libre acceso. Para lograr este objetivo se ha de garantizar que la dosis recibida en las zonas contiguas no supere el valor de 1mSv/año. En la zona de experimentación se dispondrá de dos cámaras de interacción donde se encontrará localizada la fuente generadora de radiación ionizante, una multi-TW dedicada al láser VEGA-1 (20 TW) y VEAG-2 (200 TW), y otra para el láser VEGA-3 (1 PW). La Figura 2 muestra el esquema de la zona de experimentación con las cámaras de interacción, así como la zona contigua en que se sitúan los compresores de los sistemas láser.

Se exponen a continuación los pasos seguidos para la estimación de los niveles de radiación en la zona experimental donde se encuentran las cámaras de experimentación del CLPU y zonas contiguas. Para su elaboración se han considerado unas especificaciones concretas para el blindaje de la zona experimental, es decir, para las dimensiones y características de los materiales que configuran este blindaje. Como regla general, se han utilizado siempre los valores que llevarán a la adopción de las hipótesis más conservadoras.

La Figura 3 muestra un diagrama con la metodología empleada. En color rojo se indican los resultados obtenidos a través de esta metodología. Algunos aspectos relevantes de la aplicación de la metodología se analizarán a continuación:

Término fuente

Un conjunto de variables esenciales para la protección radiológica y la determinación de blindajes son las que caracterizan el término fuente (tipo de partículas generadas en la instalación, energía, número, distribución angular de emisión...). En una instalación convencional estos parámetros son fáciles de determinar a partir de las especificaciones del voltaje a que funcione el dispositivo

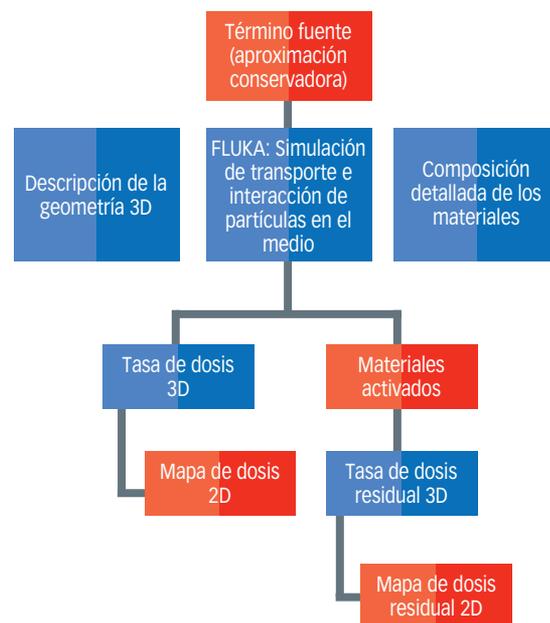


Figura 3. Diagrama con la metodología empleada para la determinación de los niveles de radiación en la zona experimental.

(caso de una instalación de rayos X) o la energía máxima de los electrones (caso de un acelerador). Sin embargo, en el caso de la radiación generada por un láser es necesario tener en cuenta más elementos. La fuente originaria de radiación es la distribución de electrones que se emiten en la interacción láser-materia. Dicha distribución depende de los distintos tipos de blancos, más específica-

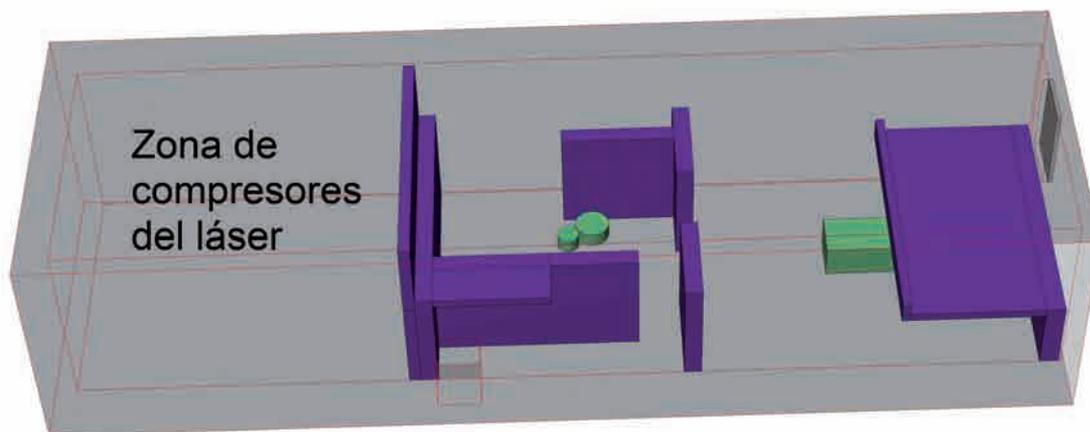
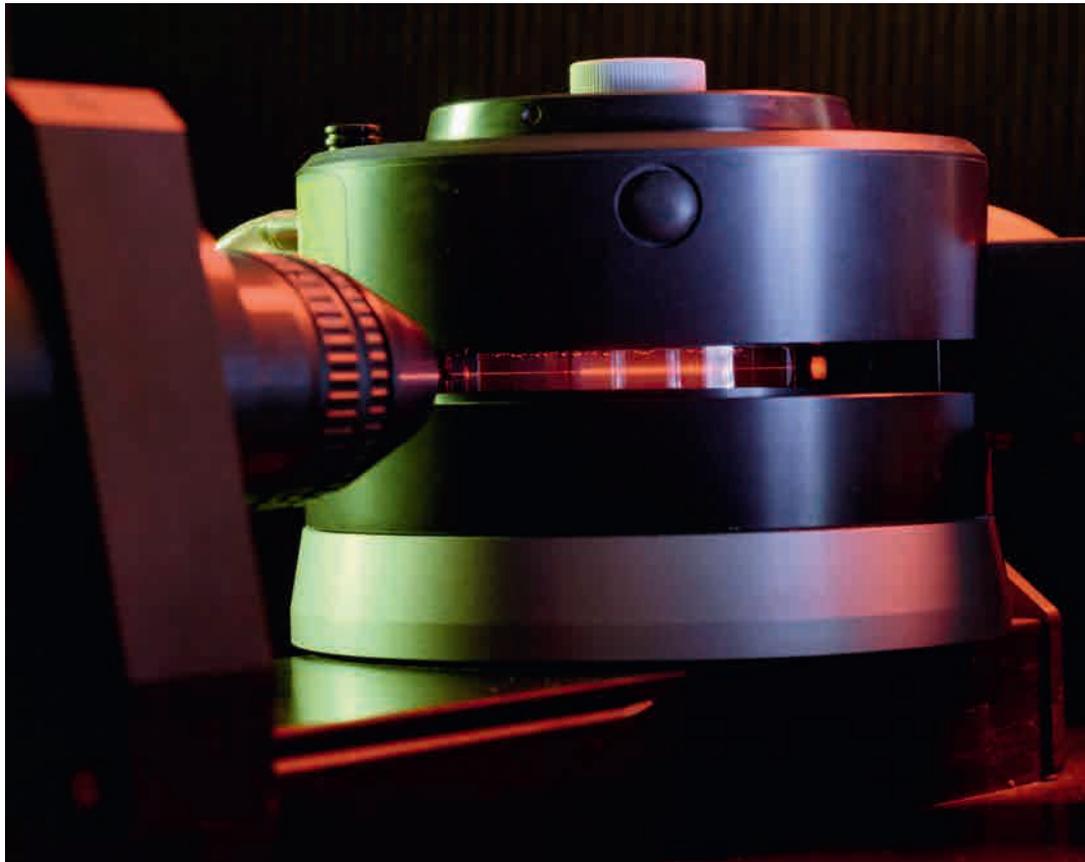


Figura 2. Esquema de la zona de radiación con las cámaras de interacción y la geometría usada para la simulación mediante el código Monte Carlo FLUKA. En color verde se ilustran las cámaras de interacción donde se producirá la aceleración láser. En morado se ilustran los muros de hormigón del interior de la zona experimental. También se ilustran los dos accesos a la zona experimental.



Latinstock

mente de las distintas densidades electrónicas de los mismos. En el caso de blancos sólidos el láser cede energía por diversos mecanismos indirectos, calentando el plasma, mientras que en el caso de blancos gaseosos el láser es capaz de acelerar directamente los electrones generados. En la bibliografía (Fernández, Conejero, & Roso, 2013; Meyerhofer, Chen, Delettrez, Soom, Uchida, & Yaakobi, 1993; Gibbon, 2005; Wilks, Kruer, Tabak, & Langdon, 1992; Gordienko & Pukhov, 2005; Lu y otros, 2006) se describen con detalle los términos fuente que corresponden a los dos tipos de blancos.

Código Montecarlo: FLUKA

A partir del término fuente, se simula el transporte y las interacciones de las partículas de éste y de las generadas por él mediante el código Montecarlo FLUKA (Battistoni y otros, 2007; Ferrari, Salla, Fassò & Ranft, 2005). Para esta simu-

lación es necesario realizar una descripción, lo más detallada posible, de la geometría de la instalación, así como de los materiales presentes en la misma. La geometría empleada para la simulación se muestra en la Figura 2.

Activación de materiales

En presencia del intenso campo eléctrico del láser, el desplazamiento de los electrones puede generar grandes campos eléctricos que produzcan la aceleración de protones o iones en función de las características del blanco. Los protones acelerados pueden producir neutrones en los elementos que rodean al punto de interacción a través de reacciones del tipo (p,n) o reacciones de

break-up. En determinados casos también pueden producirse neutrones en reacciones (γ,n), llegando a producirse típicamente 10^{-4} neutrones por cada ion. Finalmente, debido a las reacciones de tipo (p,n) pueden producirse activaciones secundarias en los materiales que rodean al blanco o en la propia cámara de reacción.

Es necesario evaluar cuidadosamente este tipo de activaciones, puesto que son las únicas que contribuyen a la dosis una vez apagado el láser, y pueden impedir el acceso al área de experimentación si son suficientemente elevadas. Existen varios métodos para reducir estas activaciones secundarias que incluyen utilizar blancos con el mayor nivel de pureza posible, una cuidadosa selección de los materiales de detección y diagnóstico, así como de los materiales que formen parte de las paredes de la cámara de interacción. En cualquier caso, en determinados experimentos, como pueden ser los de generación de radioisótopos, el blanco siempre queda activado y es necesario tener en cuenta esta activación para el acceso al área de experimentación.

Tasas de dosis

Los datos obtenidos de la simulación con FLUKA son procesados para obtener las tasas de dosis en cada punto del espacio, y de éstas, aquellas a las que está expuesto el personal que ocupa una determinada zona de la instalación.

Por otro lado, de la activación de los materiales (también simulada mediante FLUKA) se obtienen análogamente resultados relativos a las tasas de dosis que se producirán como resultado de la activación.

El CLPU, como instalación radiactiva, se ha marcado el objetivo de que todas las zonas contiguas a la zona experimental sean de libre acceso

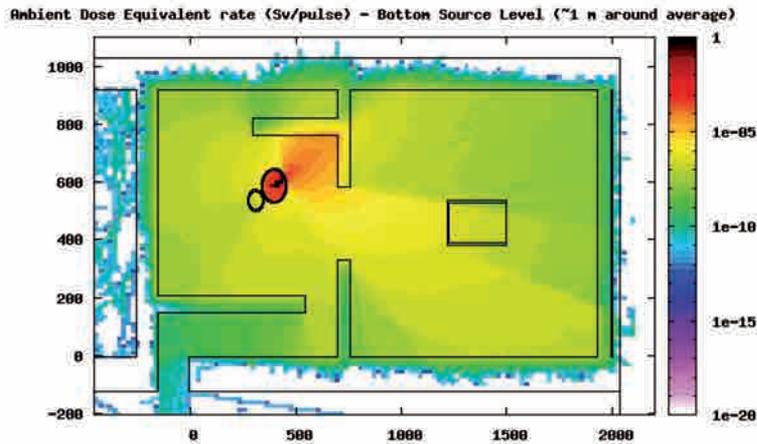


Figura 4. Estimación de la dosis ambiental del VEGA-2 (láser 200 TW). Vista de planta de la zona experimental.

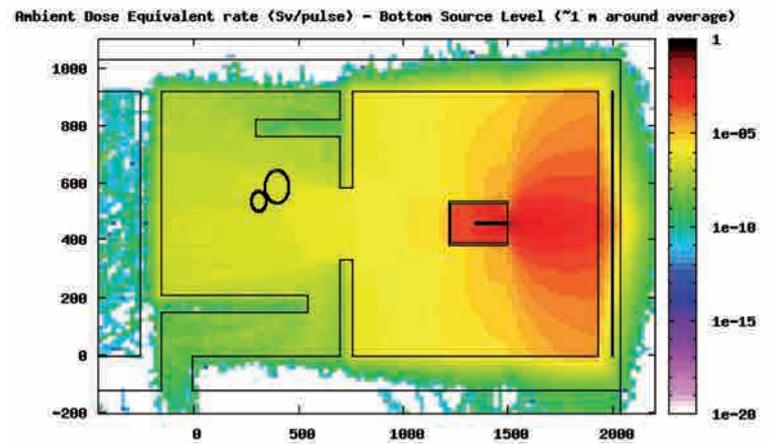


Figura 5. Estimación de la dosis ambiental del VEGA-3 (láser 1 PW). Vista de planta de la zona experimental.

A partir de la metodología presentada, se ha realizado el análisis de los niveles de radiación de los sistemas generadores de radiación ionizante del CLPU: acelerador láser plasma multi-TW y acelerador láser plasma PW. En la Figura 4 se muestra la distribución para el VEGA-2 (láser de 200 TW) y en la Figura 5 se muestra la distribución para el caso del VEGA-3 (láser de 1PW). Las dosis están dadas en Sv/pulso del láser. Es conveniente resaltar que estas representaciones muestran un cierto corte de la geometría de la instalación (y no una proyección), por lo que pueden no verse representadas partes que sí están en la simulación, como se muestra en el esquema de la Figura 2.

Se debe insistir en el hecho de que las estimaciones de los niveles de dosis ambiental se han obtenido para un disparo del láser. Es decir, se debe multiplicar por el número de disparos que se realicen para calcular la dosis ambiental en un periodo de tiempo dado.

En el CLPU se ha establecido que las zonas contiguas a la zona experimental sean de libre acceso. Por tanto, y según la legislación vigente, la dosis debe ser inferior a 1 mSv año en todas estas zonas. A partir de esta restricción, es posible determinar el número de disparos

Tabla 1. Valores máximos hallados de la dosis por pulso en la zona de compresores.

Sistema@Intensidad W/cm ²	Dosis Sv/pulso	Numero de pulsos para dosis=1mSv	Pulsos diarios (dosis=1mSv) en exclusividad
VEGA-3@0,8E21	6E-11	16 x10 ⁶	150 x 10 ³
VEGA-3@1E22	2E-10	5 x10 ⁶	50 x 10 ³
VEGA-2@1E20	4E-11	25 x10 ⁶	240 x 10 ³
VEGA-2@1E21	6E-10	1,6 x10 ⁶	15 x 10 ³

del láser que garanticen una dosis inferior a 1 mSv/año en estas zonas.

En el caso concreto de la instalación del CLPU, el estudio realizado ha puesto de manifiesto que la zona que impone una restricción mayor sobre el número de disparos es la zona de compresores del láser (ver Figura 2). Los valores máximos hallados en la zona de compresores se resumen en la Tabla 1, así como alguna valoración sencilla del número de disparos posibles con el láser. Para determinar estos números se han supuesto 35 semanas de trabajo/año y 3 días de trabajo/semana. Se ha considerado que los sistemas no funcionarán simultáneamente.

Para estos cálculos se han considerado dos intensidades diferentes en el punto focal, tanto para el VEGA-2 como para el VEGA-3, que están delimitadas por

la distancia focal usada para el dispositivo experimental.

Identificación de los riesgos radiológicos asociados con la operación de la instalación CLPU

En una instalación de láseres intensos como el CLPU se han identificado dos tipos de riesgos radiológicos: irradiación externa y contaminación.

Riesgo de irradiación externa

Existe riesgo de irradiación externa en el interior de la zona experimental cuando se focalizan los disparos con el láser sobre un material usado como blanco. Con el láser apagado no existe riesgo de

irradiación mediante la radiación primaria, pero existe riesgo de irradiación si existen materiales activados en la zona experimental.

Riesgo de contaminación

Existe riesgo de contaminación debido a los residuos que se producen durante la interacción del haz del láser con el material usado como blanco. Inicialmente este material contaminable se encuentra confinado en el interior de la cámara de interacción donde se realizan los disparos.

Vigilancia y monitorización de la radiación en el CLPU

Detectores de área

Los detectores y monitores de radiación son empleados en instalaciones convencionales de aceleración de partículas (Sincrotrón, LINAC, Ciclotrón...) para vigilar y controlar las tasas de dosis durante la operación de la instalación. Sin embargo, existe una serie de prevenciones a considerar para evaluar la posibilidad del uso de los detectores empleados en aceleradores convencionales en el caso de una instalación de láseres intensos.

La peculiaridad fundamental de la radiación producida en una instalación de este tipo radica en la escala temporal de las emisiones. De forma intuitiva, para conseguir una gran potencia con un consumo de energía razonable, el intervalo temporal en que se emita la radiación láser ha de ser muy pequeño. En la práctica esto se traduce en que la escala temporal a la que se trabaja está en el orden de los femtosegundos ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$).

Los diversos detectores de radiación existentes se basan en la idea de que una partícula deposita en el medio que los constituye una cierta energía, por el me-

Se estima que ningún trabajador del CLPU se verá expuesto a una dosis anual superior a 1 mSv, de forma que los controles llevados a cabo desde la puesta en marcha de la instalación se orientarán a realizar dicha comprobación

canismo físico que sea, y esta energía depositada produce a su vez una señal eléctrica que da una medida con información de las partículas que lo han atravesado. Esos procesos físicos tienen también tiempos característicos que han de tenerse en cuenta en el diseño de un detector para conocer su comportamiento cuando ocurren sucesos «simultáneos» (*i.e.*, separados temporalmente por un tiempo mucho menor que el del proceso de detección).

Un detector «muy rápido» tiene tiempos característicos del orden de los nanosegundos ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$), siendo aún así mucho más lento que la radiación emitida como consecuencia de las interacciones de un láser ultracorto. Así pues, es necesario que los detectores empleados estén verificados en la escala de femtosegundos y se conozca su comportamiento ante la radiación con estas características temporales.

Existen además otras dificultades para el empleo de detectores «tradicionales», como pueden ser las limitaciones geométricas y espaciales por las cámaras de vacío empleadas o por la trayectoria del láser, el elevado número de partículas producidas, el ancho energético del espectro y la posibilidad de interferencia del ruido electromagnético producido por el pulso láser con los posibles sistemas electrónicos de detección.

Dadas las características de la fuente generadora de radiación, en el CLPU se ha considerado como primera opción el uso de detectores pasivos (películas radiocrómicas y TLDs) para determinar la dosis en el interior de la zona experimental y áreas próximas.

Por otra parte, también se usarán detectores activos (gamma y neutrones)

para monitorizar de forma continua la dosis en el exterior de la zona experimental así como la tasa de dosis en el interior de la zona experimental, una vez que los disparos del láser sobre el blanco han finalizado (dosis procedente de la posible activación de materiales en la zona experimental).

Detectores personales

La vigilancia y monitorización del personal que trabaje en la zona experimental de la instalación radiactiva se realizará mediante detectores TLDs (detectores TLDs dopados con litio para la dosimetría de neutrones). Esta dosimetría personal será llevada a cabo por un servicio externo a la instalación del CLPU, como por ejemplo, el Centro Nacional de Dosimetría (CND)³.

Evaluación del impacto potencial de cada uno de los riesgos

Sobre los trabajadores

Los niveles dosimétricos causados por la radiación generada en la zona experimental en puntos exteriores a la misma se han estimado muy bajos. Por ello, el objetivo de considerar que todas las zonas contiguas a la zona experimental sean zona pública es realizable, ya sea solamente con el blindaje estructural del área de experimentación, o con blindajes locales que se vean necesarios una vez puesta en funcionamiento la instalación.

Dado que la presencia de trabajadores en el interior de la zona experimen-

(3) <http://www.cnd.es/cnd/index.php>

tal, una vez parada la operación, se realizará de manera controlada, la posible exposición de los trabajadores a zonas que hayan quedado activadas se considera que será mínima o residual.

Es por este motivo que se considera que ningún trabajador de CLPU se verá expuesto a una dosis anual superior a 1 mSv, de tal manera que todos los controles que se realicen desde el primer momento de la puesta en marcha de la instalación estarán orientados a realizar dicha comprobación, y en caso de detectar tasas de dosis totales (fotónica y neutrónica) superiores a 1 mSv/año, se procederá a mitigar el efecto causante, y si no es posible, se realizará un blindaje local que garantice la tasa de dosis pública.

Inicialmente, las zonas contiguas a la zona experimental (por ejemplo, la zona de compresores) se clasificarán como zonas vigiladas. Dependiendo de las medidas de radiación posteriores se procederá a cambiar tal clasificación.

Sobre los usuarios y el público

El impacto radiológico sobre los usuarios y el público en general debido a la operación de los aceleradores láser plasma será residual o prácticamente nulo, dado que el objetivo que se persigue es que ningún trabajador del CLPU (o cualquier persona externa) pueda recibir durante su estancia una dosis total superior a 1 mSv/año.

La probabilidad de superar los niveles anuales de dosis que se dan en el presente estudio es prácticamente cero dada la naturaleza de la radiación que origina dicha dosis: si se desconecta el sistema de acelerador láser-plasma, la radiación directa desaparece y las emisiones debidas a la activación son prácticamente residuales en el interior de la zona experimental y nulas en el exterior del mismo. Es más, si se impide la focalización del láser, es totalmente imposible la generación de radiación ionizante.

Selección y evaluación de las medidas para reducir los riesgos a niveles aceptables

Con el fin de controlar y reducir los posibles riesgos debido al funcionamiento del sistema de aceleración láser-plasma, se adoptarán tres medidas que garantizarán la reducción de los riesgos

radiológicos durante la puesta en marcha del CLPU:

- Empleo de valores mínimos de intensidad en foco mediante una focal larga, de manera que el aumento de dicha intensidad pueda ser realizada de manera controlada si se cumplen todas las garantías de seguridad.
- Reducción del número de disparos del láser a valores mínimos y muy lejanos al valor nominal del sistema láser.



El CLPU debe elaborar un Manual de Protección Radiológica que describa medidas para conseguir que las dosis individuales de radiación, el número de personas expuestas y la probabilidad de exposiciones potenciales sean lo más bajas posible

- Desalojo de las zonas contiguas a la zona experimental de todo el personal, hasta que se haya comprobado fehacientemente que no existe ningún riesgo de trabajo en las inmediaciones

del mismo. En caso de no poderse desalojar totalmente estas zonas, se controlará la presencia de personal en las mismas, minimizando la exposición de cualquier trabajador.

Con este *modus operandi* se garantizará que desde el primer día no se realice ninguna exposición innecesaria y descontrolada para ningún trabajador del CLPU o trabajador externo.

Conclusiones

En una instalación radiactiva, como es el caso del CLPU, los protocolos y procedimientos escritos son una de las herramientas básicas para la prevención de los riesgos radiológicos. Estos procedimientos estarán consensuados entre los componentes de las áreas implicadas y el servicio de protección radiológica, y refrendados por la dirección de la instalación o su representante. Una vez aprobados, serán distribuidos entre las personas implicadas y serán revisados periódicamente, no solamente cuando tenga lugar cualquier modificación de la normativa que afecte a la actividad a la que se refieren.

Los estudios realizados en el presente proyecto se han dirigido a presentar los protocolos (aplicando la normativa vigente) para la protección contra los riesgos derivados de la exposición a la radiación ionizante (RI) de los trabajadores expuestos, los trabajadores no expuestos, los usuarios, los estudiantes en prácticas y los miembros del público en general, en las instalaciones de láseres intensos. En particular, el estudio se ha basado en el Centro de Láseres Pulsados,

para el cual se han identificado los riesgos radiológicos y se han estimado los blindajes y sistemas de detección necesarios para garantizar la seguridad y la protección frente a RI, durante la puesta en marcha y funcionamiento del centro.

Aplicando la normativa vigente, el CLPU debe solicitar la autorización de funcionamiento como instalación radiactiva, dando cumplimiento al Real Decreto 1836/1999, posteriormente modificado por el Real Decreto 35/2008, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas, y al R.D. 2080/1999 (BOCyL 28.01.2000), donde se han transferido a la comunidad autónoma funciones en materia de instalaciones radiactivas de segunda y tercera categoría. Por otra parte, la solicitud de autorización de funcionamiento de una instalación de primera categoría debe ser presentada ante el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), único órgano competente en materia de seguridad nuclear y protección radiológica del Estado español.

Como instalación radiactiva, el CLPU debe elaborar un Manual de Protección Radiológica (MPR) donde se describan las medidas necesarias para conseguir que las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales sean lo más bajas posible. Los estudios realizados en el transcurso de este proyecto han proporcionado la información necesaria para la elaboración del MPR del CLPU. A continuación se describen brevemente las principales medidas de protección radiológica en la instalación del CLPU. Todas ellas serán desarrolladas en el correspondiente manual a partir del estudio realizado:

- **Clasificación del personal.** Por razones de seguridad, vigilancia y control radiológico, las personas que trabajan en la instalación del CLPU se clasifi-



Latinstock

Los protocolos de una instalación radiactiva como el CLPU deben consensuarse entre los componentes de las áreas implicadas y el servicio de protección radiológica del centro

can, en función de las condiciones en que realizan su trabajo, en:

- Trabajadores expuestos (categorías A y B).
- Usuarios y miembros del público.
- **Límites de dosis.** Se aplicarán diferentes límites de dosis para cada tipo de trabajador contemplados en la legislación vigente.
- **Clasificación de zonas.** Se clasificarán los lugares de trabajo de la instalación CLPU de acuerdo con la evaluación de las dosis anuales previstas y la probabilidad (así como la magnitud) de las exposiciones potenciales. Inicialmente se realizará una clasificación conservadora de las zonas, que podrá ser modificada una vez se hayan comprobado fehacientemente los niveles de dosis anuales.
- **Normas generales en zonas con riesgo radiológico.** Se dictarán unas normas de acceso, procedimientos de trabajo y equipos de protección individual asociados.
- **Señalización.** Se señalarán convenientemente las diferentes zonas según su clasificación, así como los materiales o equipos generadores de radiación ionizante.



Protocolos relativos a la protección radiológica

Atendiendo al estudio realizado en este proyecto, y gracias al equipo interdisciplinar constituido para la ejecución del mismo, se concluye con una serie de protocolos de protección radiológica en el CLPU. Estos protocolos estarán consensuados entre los componentes de las áreas implicadas y el Servicio de Protección Radiológica del Centro, y refrendados por la dirección o su representante. Una vez aprobados, deben ser distribuidos entre las personas implicadas y ser revisados periódicamente.

- Protocolos de verificación de detectores, monitores de radiación y contaminación de la instalación CLPU.
- Protocolo de uso de fuentes radiactivas de verificación de los detectores.
- Protocolo de control de hermeticidad de las fuentes radiactivas.
- Protocolo de clasificación y señalización de zonas de la instalación CLPU.
- Protocolo de clasificación de personal en la instalación CLPU.
- Protocolo de control de trabajos de investigación que se vayan a realizar en la zona experimental.
- Protocolo de vigilancia de la radiación externa en la instalación CLPU.
- Protocolo de control dosimétrico del personal en la instalación CLPU.
- Protocolo de evacuación de la zona experimental previo a la puesta en marcha de algún sistema generador de RI.
- Protocolo de gestión de licencias y autorizaciones.
- Protocolo de gestión de material activado en la zona experimental.
- Protocolo de formación e información en protección radiológica.
- Protocolo de comunicación con el titular y otros servicios implicados.
- Protocolo de intervención del servicio de protección radiológica en la documentación preceptiva de las instalaciones.
- Protocolo de actuación en caso de incidente o accidente radiológico.
- Protocolo de simulación de las situaciones de emergencia.
- Protocolo de notificación de los accidentes.
- Protocolo de trabajos en zonas controladas y vigiladas.
- Protocolo de actuación en materia de vigilancia de la salud de los trabajadores.
- Protocolo de planes de mejora.



Latinstock

■ Vigilancia y control de la radiación.

Incluye la vigilancia del ambiente de trabajo, la evaluación de la exposición de los trabajadores expuestos, la vigilancia sanitaria y las normas de protección de personas en formación y estudiantes. También distingue la protección especial para usuarios y miembros del público.

■ Gestión y control del material radiactivo. Tiene como objetivo ejercer

un adecuado control sobre el material radiactivo (fuentes de calibración y material activado) para minimizar los riesgos en todos los aspectos, siendo necesaria la aplicación de normas de seguridad desde el momento de su adquisición, para el caso de las fuentes, o desde que se detecta su existencia, para el caso del material activado.

■ Procedimientos para el proyecto y aceptación de experimentos en la instala-

ción con riesgo radiológico. La instalación y aceptación de experimentos, cuya realización implique riesgo radiológico debe llevarse a cabo siguiendo criterios que no solo atiendan a objetivos técnicos y científicos perseguidos, sino también que minimicen las dosis asociadas a su uso, siempre dentro de los límites establecidos en la instalación.

■ Sistema de registros.

Se establecerán unos criterios y prácticas para la generación y conservación de registros.

■ Formación y entrenamiento en protección radiológica (PR).

Se establecerá un régimen y condiciones de formación y entrenamiento en PR.

■ Criterios de optimización.

Se establecerán una serie de criterios referentes a la exposición ocupacional y del público y unas restricciones de dosis asociadas.

■ Sistema de calidad.

Se describirá una serie de elementos del sistema de calidad destinados a fortalecer el ciclo de mejora continua.

■ Plan de emergencia.

Se describirán las contramedidas, responsabilidad, notificación y formación asociadas a cada una de las posibles situaciones de emergencia. ♦

Este trabajo ha sido financiado gracias a una Ayuda a la Investigación concedida por FUNDACIÓN MAPFRE.

Referencias

- [1] Meyerhofer, D. D., Chen, H., Delettrez, J. A., Soom, B., Uchida, S. & Yaakobi, B. (1993). Resonance absorption in high-intensity contrast, picosecond laser-plasma interactions. *Phys. Fluids B*, 5 (7), 2584-2588.
- [2] Wilks, S. C., Krueer, W. L., Tabak, M. & Langdon, A. B. (1992). Absorption of ultra-intense laser pulses. *Phys. Rev. Lett.*, 69 (9), 1383-1386.
- [3] Allot, R., Wright, P., Danson, C., Edwards, C., Neely, D., Norreys, P. y otros. (2000). *Vulcan Petawatt Upgrade: The Radiological Perspective*. Central Laser Facility Annual Report 1999/2000, CLRC Rutherford Appleton Laboratory.
- [4] Battistoni, G., Muraro, S., Sala, P., Cerutti, F., Ferrari, A., Roesler, S. y otros. (2007). The FLUKA code: Description and benchmarking. En M. Albrow, & R. Raja (Ed.), *AIP Conference Proceedings*, 896, págs. 31-49.
- [5] Borne, F., Delacroix, D., Gelé, J. M., Massé, D. & Amiranoff, F. (2002). Radiation protection for an ultra-high intensity laser. *Rad. Prot. Dosim.*, 102 (1), 61-70.
- [6] Fernández, F., Conejero, E. & Roso, L. (2013). *Protección radiológica en instalaciones de láseres infrarrojos intensos*.
- [7] Ferrari, A., Sala, P., Fassò, A. & Ranft, J. (2005). *FLUKA: a multi-particle transport code*. CERN-2005-10, INFN/TC_05/11, SLAC-R-773. Geneva.
- [8] Fonseca, C. (2011). *Generación de electrones y rayos X a partir de pulsos láser de GW y alta tasa de repetición, y su protección radiológica*. Tesis doctoral, Universidad de Salamanca.
- [9] Gibbon, P. (2005). *Short Pulse Laser Interactions With Matter: An Introduction*. Imperial College Press.
- [10] Gordienko, S. & Pukhov, A. (2005). Scalings for Ultrarelativistic Laser Plasmas and Quasimonoelectric Electrons. *Physics of Plasmas*, 12, 043109.
- [11] J., C. R., D., N. & R.D., E. (2006). Radiological characterisation of photon radiation from ultra-high-intensity laser-plasma and nuclear interactions. *J Radiol Prot.*, 26 (3), 277-286.
- [12] Lu, W., Tzoufras, M., Joshi, C., Tsung, F. S., Mori, W. B., Vieira, J. y otros. (2006). Generating multi-GeV electron bunches using single stage laser wakefield acceleration in a 3D nonlinear regime. *Plasma Physics*.

Los sistemas fotovoltaicos en edificios son una forma moderna y sostenible de producir energía eléctrica en el mismo lugar del consumo y su aportación se considera clave para llegar al objetivo de edificios de consumo casi nulo. Su proliferación ha dado lugar a algunos incidentes relacionados con incendios que, si bien han sido estadísticamente poco significativos, demuestran que debe investigarse más en algunos aspectos. Este artículo resume el estudio del estado del arte de la seguridad de los sistemas fotovoltaicos para los usuarios de los edificios y para los equipos de extinción de incendios, realizado dentro del programa de Ayudas a la Investigación 2012 de FUNDACIÓN MAPFRE, en el que también se han ensayado detectores de arco de generadores fotovoltaicos y se ha elaborado una guía de extinción de incendios en edificios con sistemas fotovoltaicos.



Prevención y actuación frente a

INCENDIOS EN EDIFICIOS

con *instalaciones fotovoltaicas*



Latinstock

Por **JULIO AMADOR GUERRA**. Doctor Ingeniero Eléctrico. Catedrático EU. Departamento de Ingeniería Eléctrica ETSIDI, Universidad Politécnica de Madrid. (julio.amador@upm.es).

FAUSTINO CHENLO ROMERO. Ingeniero Superior de Telecomunicación. Responsable de la Unidad de Energía Solar Fotovoltaica de la División de Energías Renovables del Departamento de Energía, CIEMAT. **MIGUEL**

ALONSO ABELLA. Licenciado en Ciencias Físicas. Técnico Superior del Laboratorio de Componentes y Sistemas Fotovoltaicos, División de Energías Renovables, Departamento de Energía, CIEMAT. **HUSSEIN ZEAITER ZEAITER**.

Doctor en Ciencias Físicas. Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica ETSIDI, Universidad Politécnica de Madrid.

La instalación de sistemas fotovoltaicos en edificios está en auge en todo el planeta y su futuro es muy prometedor, pudiendo alcanzar a medio plazo más del 50% del mercado fotovoltaico.

Los módulos fotovoltaicos se pueden situar sobre cubiertas, superpuestos a fachadas y tejados o integrarse como elementos del propio edificio como cerramientos, recubrimientos, pérgolas, lucernarios, etc.

Cuando los módulos reciben la luz solar generan una corriente eléctrica continua que circula por dentro de las células que constituyen los módulos foto-

voltaicos, por el cableado de conexión de los mismos y a través del inversor que la convierte en corriente alterna. Esto da lugar a que por las propias envolventes de los edificios fotovoltaicos, o por elementos anexos a ellas, circulen corrientes eléctricas importantes a tensiones que, si bien se mantienen dentro de lo que se considera baja tensión, son suficientemente elevadas.

Una instalación fotovoltaica es simplemente un sistema generador de energía eléctrica en baja tensión y, por tanto, bastaría con aplicar los métodos habituales de protección de las instalaciones eléctricas respecto a la seguridad de equipos y personas; pero, en la práctica, los generadores fotovoltaicos tienen unas características singulares, especialmente porque no se puede interrumpir la generación de la fuente de energía solar. Por estos motivos se complica la aplicación de los métodos y dispositivos convencionales de protección y pueden existir riesgos adicionales para los equipos de extinción de incendios.

Análisis de las causas de incendio en sistemas fotovoltaicos

Para el análisis de las causas potenciales de incendio en sistemas fotovoltaicos conviene dividir estos en las siguientes partes: generador fotovoltaico (asociación serie-paralelo de módulos fotovoltaicos) o instalación de corriente continua, inversor e instalación de corriente alterna.

La situación diferenciadora respecto a otro tipo de instalaciones viene da-



Figura 1. Instalación fotovoltaica de tipo general sobre cubierta plana de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial, Universidad Politécnica de Madrid. Fuente: elaboración propia.

da por el generador fotovoltaico, estando el riesgo de incendios del inversor y de la instalación de corriente alterna cubierto por normativas ya establecidas. (Figura 1)

Además de las causas habituales que se dan en cualquier edificio y en cualquier instalación eléctrica, en los generadores fotovoltaicos existen los siguientes riesgos de incendios específicos:

- Puntos calientes en módulos fotovoltaicos.
- Calentamientos y/o arcos eléctricos en módulos fotovoltaicos: interior del módulo fotovoltaico, caja de conexión del módulo fotovoltaico, conectores.
- Calentamientos y/o arcos eléctricos en «cajas de corriente continua»: cajas de paralelos, cajas de protección y maniobra, etc.
- Calentamientos y/o arcos eléctricos en el cableado de corriente alterna.

Para hacer frente a estos riesgos hay que tener en cuenta las características especiales de un generador fotovoltaico:

- Si los módulos fotovoltaicos están expuestos a la luz solar es imposible eliminar la tensión en el campo fotovoltaico.

- La corriente de cortocircuito es sólo ligeramente superior a la corriente en condiciones normales de operación; además, su valor, que depende de la irradiancia incidente, oscila entre valores nulos antes del amanecer a valores máximos en el mediodía solar (Calais *et al.* 2008).
- El valor de la tensión, que depende de las variaciones de la temperatura ambiente y de la radiación incidente, puede oscilar en centenas de voltios entre el inicio y el centro del día.
- Su potencia puede variar desde 1 kW hasta varios MW, lo que conlleva que las intensidades de corriente continua puedan ir desde unos pocos hasta centenas de amperios.

Seguridad eléctrica de sistemas fotovoltaicos

Las protecciones de sobreintensidades y faltas a tierra tienen una gran influencia en el riesgo de incendio de cualquier instalación eléctrica y, por tanto, en un sistema fotovoltaico.

En los sistemas fotovoltaicos en edificios, para conseguir el principio de equipotencial básico en la protección de personas frente a contactos indirectos, todas las masas metálicas del sistema fotovoltaico deben conectarse entre sí y a la misma tierra de masas de utilización del edificio. (Figura 2)

Respecto a la puesta a tierra de un conductor activo (conductor que en funcionamiento normal de la instalación tiene tensión o/ y circula eléctrica corriente por él) del generador fotovoltaico existen distintas posibilidades: aislado, puesta a tierra del polo positivo, puesta a tierra del polo negativo y puesta a tierra de un punto intermedio del generador fotovoltaico. (Figura 3)

La solución más habitual utilizada en Europa para la puesta a tierra funcional es la de generador aislado. En este caso, si el inversor dispone de transformador, el sistema de protección para fallos a tierra es un vigilante de aislamiento que se instala en la caja de corriente continua o en el propio inversor. En el caso de generador fotovoltaico aislado e inversor sin transformador se requiere un inte-

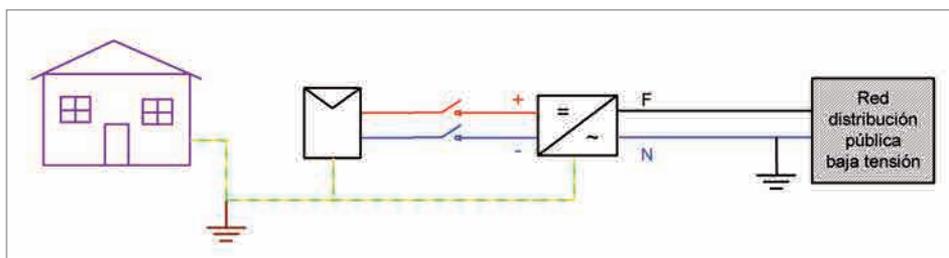


Figura 2. Puesta a tierra de protección de un generador fotovoltaico. Fuente: elaboración propia.

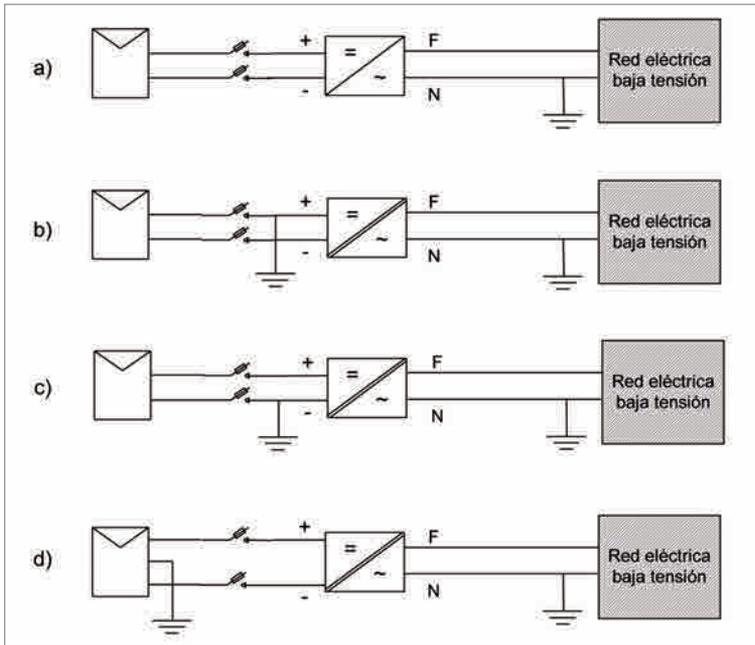


Figura 3. Tipos de puesta a tierra funcional de un generador fotovoltaico: a) aislado b) positivo a tierra c) negativo a tierra d) toma media puesta a tierra. Fuente: elaboración propia.

ruptor diferencial de tipo B conectado a la salida del inversor. Para los casos de sistemas de puesta a tierra efectiva, se debe instalar un fusible, interruptor automático o diferencial, en la puesta a tierra del generador fotovoltaico (Fuentes: BENDER, Hernández *et al.* 2009, NZS 5033).

En cuanto a la protección de sobrecorrientes, se deben instalar dispositivos de protección y desconexión en ambos terminales, positivo y negativo, de cada una de las ramas de la asociación fotovoltaica (CTE-HE5). (Figura 4)

Arcos eléctricos en generadores fotovoltaicos

Como se indica anteriormente, los generadores fotovoltaicos trabajan con tensiones e intensidades elevadas en corriente continua que además son variables, están sometidos a condiciones ambientales extremas y tienen un tiempo de vida muy elevado. Por tanto, aunque para un generador bien diseñado y ejecutado y con material de calidad la pro-

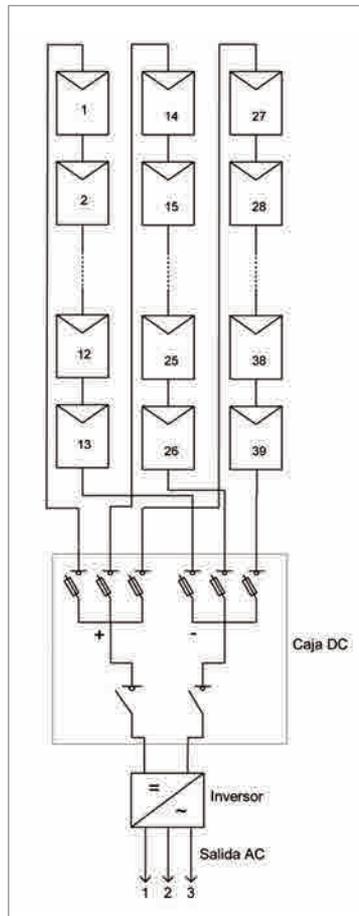


Figura 4. Solución habitual de protección de sobrecorriente y seccionamiento para generador fotovoltaico de tres cadenas de módulos. Fuente: elaboración propia.

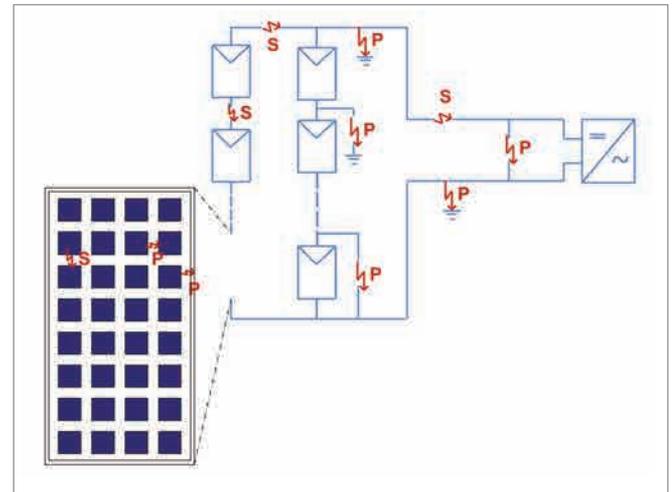


Figura 5. Tipos de arco en generadores fotovoltaicos: S = arco serie, P = arco paralelo. Fuente: elaboración propia.

babilidad de arcos eléctricos sea muy baja, no es posible garantizar que no se produzcan en ningún caso.

Estos arcos son más peligrosos que los arcos de corriente alterna, puesto que no se producen pasos por cero en la señal de corriente. La detección de arcos eléctricos en sistemas fotovoltaicos permite reducir considerablemente el riesgo de incendio. En la Figura 5 se representan los tipos de arco que se pueden dar en un generador fotovoltaico.

Los arcos serie o los arcos paralelo sin tierra no son detectados por los sistemas de protección habitualmente utilizados en generadores fotovoltaicos y que se han descrito en el punto anterior. Por este u otros motivos, las normativas en algunos países consideran el uso de detectores de arco para la protección de

Aunque para un generador bien diseñado y ejecutado y con material de calidad la probabilidad de arcos eléctricos sea muy baja, no es posible garantizar que no se produzcan en ningún caso

generadores fotovoltaicos. Por ejemplo, el NEC *National Electric Code* de EE. UU. establece la obligatoriedad de incluir equipos de protección frente a arcos serie de corriente continua en sistemas fotovoltaicos instalados en edificios para instalaciones con tensión nominal igual o superior a 80 VDC (NEC 2011).

Cuando se detecte un arco, el sistema de protección ha de ser capaz de desconectar el circuito con defecto y todos los componentes del sistema involucrados en la aparición del arco.

Cuando un arco serie o paralelo se origina en generador fotovoltaico, se produce una distorsión en las señales de corriente y tensión que provoca un cambio en las características en frecuencia de estas señales. El principio de funcionamiento de los detectores de arco se basa en el análisis de los cambios que se producen en el espectro en frecuencia de las señales medidas (Strobl *et al.* 2010, Bieniek 2011, Haeberlin 2010). (Figura 6)

Los equipos de detección de arco deben funcionar correctamente sin que se vean afectados significativamente por los fenómenos de atenuación y filtrado de las señales de arco presentes en el circuito de corriente continua, ni por las condiciones de ruido eléctrico presentes en la instalación. A continuación se muestra el registro en el tiempo de las señales de corriente registradas en un generador fotovoltaico en ausencia y en presencia de un arco. Las medidas se han efectuado conectando un banco resistivo o un

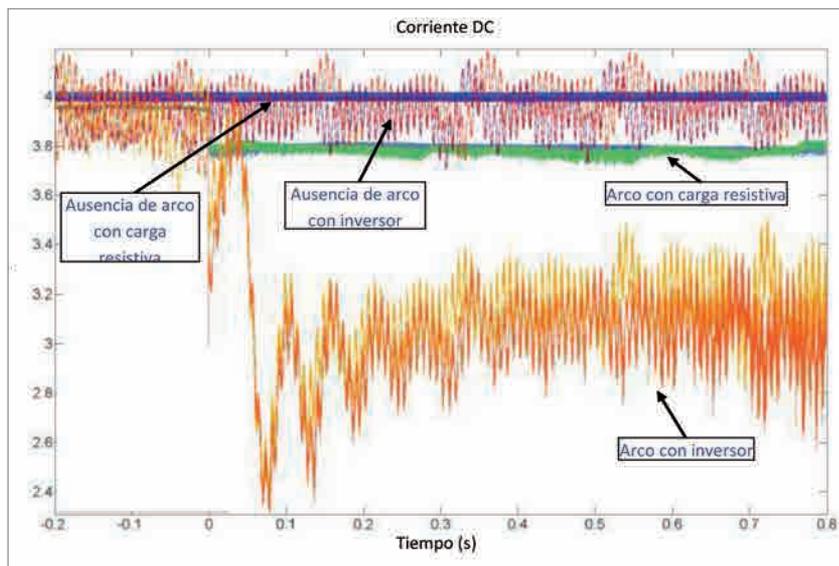


Figura 7. Corriente registrada en un circuito de corriente continua en ausencia de falta y en presencia de un arco para una carga resistiva y con un inversor. La aparición del arco se produce en el segundo 0 y se mantiene durante más de 0,8 segundos. Para cada medida se han registrado dos señales. Fuente: Johnson *et al.* 2011.

Tabla 1. Tipos de arcos eléctricos en un generador fotovoltaico y maniobras de protección a realizar. Fuente: elaboración propia.

Tipo de arco	Acción sobre el generador fotovoltaico
Arco serie	Abrir el circuito
Arco paralelo sin tierra	Cortocircuitar para evitar diferencias de potencial
Arco paralelo a tierra con generador puesto a tierra	Separar de tierra
Arco paralelo a tierra con generador aislado de tierra	Cortocircuitar para evitar diferencias de potencial

inversor como carga del circuito de corriente continua (Johnson *et al.* 2011). (Figura 7)

El análisis en frecuencia de las señales anteriores permite diferenciar intervalos en el espectro donde es notable la presencia de arcos, que es aprovechada por los equipos de protección para detectar su presencia (Strobl *et al.* 2010, Bieniek 2011, Haeberlin 2010).

Una dificultad añadida en la detección de arcos surge cuando se trata de diferenciar si se ha producido un arco serie o paralelo, ya que la señal del arco suele ser similar en ambos casos. Mientras que algunos autores sostienen que los arcos paralelo pueden ser diferenciados utilizando la medida de la resistencia de aislamiento, otros proponen métodos alternativos (Strobl *et al.* 2010, Johnson 2012a).

En la Tabla 1 se indican los tipos de arco y la actuación requerida para eliminarlos o minimizar su impacto.

En la actualidad existen algunos modelos comerciales de detectores de arco para instalaciones fotovoltaicas pero, en la mayor parte de los casos, la funcionalidad de detección se integra en el propio inversor.

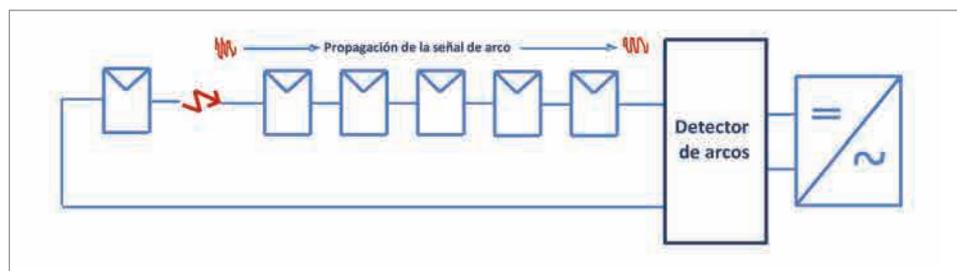


Figura 6. Ejemplo de generación de arco serie. Propagación de la señal de arco y detección por el equipo de protección. En su recorrido la señal se atenúa y se filtra. Fuente: elaboración propia.

Ensayos de detectores de arcos

Con objeto de determinar la aptitud para detectar arcos se ha diseñado y construido un generador de arcos que ha permitido ensayar el detector de arco SANTON ADU E1. (Figuras 8 y 9)

Los ensayos se han realizado en el Laboratorio de Energía Solar Fotovoltaica del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, siguiendo en parte las indicaciones de la norma UL-1699B de Underwriters Laboratories descrita en la referencia UL-1699B 2011. (Figura 10)

El dispositivo ensayado SANTONADU E1 dispone de capacidad de detección

de arco pero no de interrupción del circuito eléctrico. El dispositivo proporciona un indicador sonoro y luminoso de fallo y dos contactos libres de potencial, normalmente abierto y normalmente cerrado. El cambio de estado de estos contactos ante la detección de un arco permitirá actuar sobre elemento de desconexión del circuito de corriente continua. (Figura 11)

Se han realizado los ensayos siguientes:

- Ensayo de detección de arcos serie.
- Ensayo de detección con enmascaramiento de la señal de operación.
- Ensayo de detección con impedancia de línea.

Con objeto de determinar la aptitud para detectar arcos se ha diseñado y construido un generador de arcos que ha permitido ensayar el detector de arco SANTON ADU E1

La muestra bajo ensayo ha pasado todos los ensayos excepto el ensayo de detección con impedancia de línea, que no ha cumplido los criterios en algunos casos.

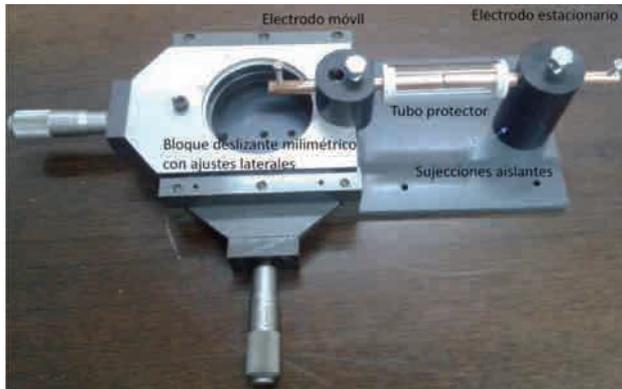


Figura 8. Generador de arcos.

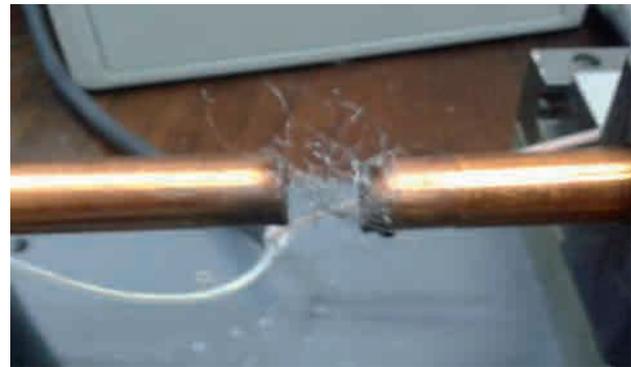


Figura 9. Detalle de los electrodos y de la lana de acero utilizada para activar el arco.

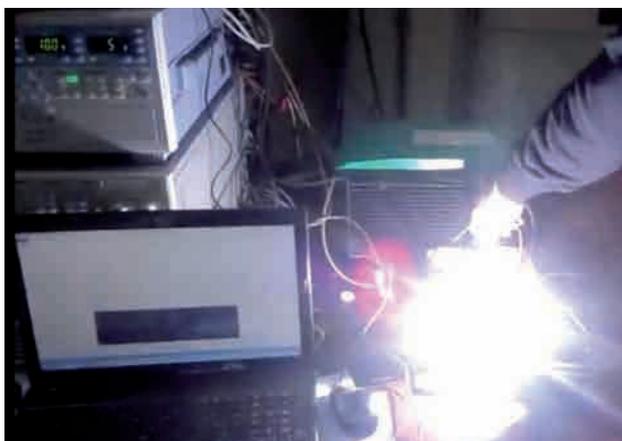


Figura 10. Imagen de uno de los arcos generados en el laboratorio del CIEMAT.



Figura 11. Imagen del detector de arcos ensayado ubicado en la caja de protección IP65, donde se incluye un interruptor manual de corriente continua (32A/1000V).

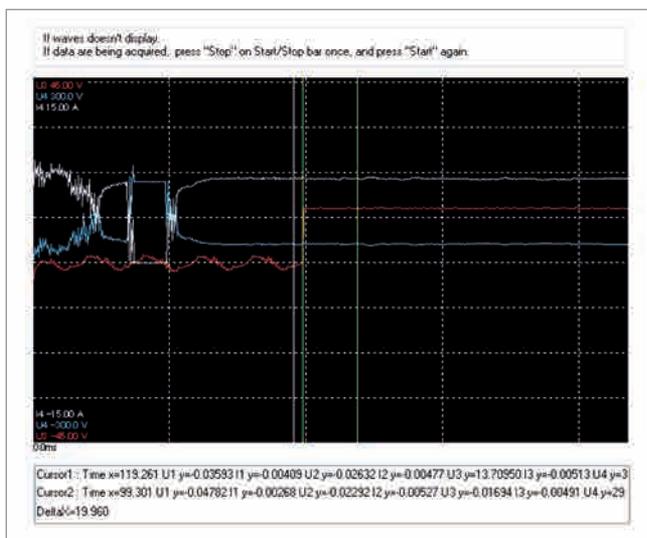


Figura 12. Ejemplo de oscilograma obtenido en los ensayos realizados. Fuente: elaboración propia.

La Figura 12 corresponde a uno de los oscilogramas obtenido con vatímetro/osciloscopio para la medida del tiempo de detección de arco serie. Las señales monitorizadas han sido:

- Corriente de arco, en color blanco.
- Tensión de arco, en color azul.
- Señal de 12 VDC del relé de señalización, contacto normalmente abierto, del dispositivo ensayado, en color rojo.

Resistencia al fuego de módulos y tejados fotovoltaicos

Existen diversas normas de ensayo para determinar el comportamiento de módulos fotovoltaicos respecto al fuego (entre ellas cabe citar la IEC 61730-2:2004 Certificación de seguridad de módulos fotovoltaicos-Parte 2: Requisitos para ensayos. Punto 10.8 Ensayo de fuego) que establecen dos tipos de ensayos de resistencia al fuego: ensayo de propagación de la llama y ensayo de quemado parcial. Estos ensayos permiten clasificar los módulos fotovoltaicos en clase A, B y C, según los criterios indicados en la Tabla 2.

La instalación de módulos fotovoltaicos puede reducir la clase de resistencia al fuego de un tejado si módulos de una calificación más baja se instalan en un tejado con una calificación frente al fuego más alta. Analizando esta problemática se ha llegado a la conclusión de que la actual clasificación con respecto al fuego de los módulos fotovoltaicos no es un buen indicador de la clase de fuego que tendría ese mismo módulo fotovoltaico y el tejado como un conjunto.

Tabla 2. Condiciones de ensayos de resistencia al fuego de módulos fotovoltaicos. Fuente: Norma IEC 61730-2:2004.

Parámetro	Clase A	Clase B	Clase C
Inclinación de los módulos fotovoltaicos	22,6° (o según el fabricante siempre que el ángulo sea mayor de 22,6°)		
Velocidades del viento (m/s)	5,3		
Tamaño de la muestra, ancho x largo (m)	1 x 1,8	1 x 2,4	1 x 3,9
Ensayo de propagación de llama			
Temperatura de la llama (°C)	760	760	704
Duración del ensayo (minutos)	10	10	4
Ensayo de quemado parcial			
Tipo de madera del bloque	Madera de abeto secada al horno sin nudos ni bolsas de resina		
Tamaño bloque (mm)	300 x 300 x 57	150 x 150 x 57	38,1 x 38,1 x 19,8
Número de bloques	1	2	20

En el ámbito de la norma UL 1703 se está desarrollando un nuevo sistema de clasificación con respecto al fuego de módulos fotovoltaicos para reemplazar el actual, que estará basado en los resultados de los ensayos de propagación de llama y de quemado parcial pero, en lugar de únicamente tener en cuenta el módulo fotovoltaico individualmente, tendrá en cuenta el módulo fotovoltaico, la estructura en que se apoya dicho módulo y el tejado, todo como un conjunto.

Requisitos de los sistemas fotovoltaicos para la seguridad del equipo de extinción de incendios

Para un mantenimiento adecuado y una extinción segura en caso de incendio es necesario tener en cuenta una serie de requisitos de acceso y espaciado a la hora de instalar un sistema fotovoltaico en un tejado. Estos requisitos son establecidos con el fin fundamental de (OCFA 2008):

- Garantizar el acceso al tejado o azotea.
- Proporcionar vías para zonas específicas del tejado.

- Proporcionar áreas de ventilación en casos de mucho humo.
- Proporcionar una salida de emergencia desde el tejado.

En cualquier caso, con módulos fotovoltaicos o sin ellos, los puntos de acceso al tejado deben ubicarse en áreas donde las escaleras no se sitúen sobre aberturas como, por ejemplo, ventanas o puertas; y deben estar localizados en puntos fuertes del edificio, donde no entren en conflicto con obstáculos tales como ramas de árboles, cableado, etc.

Los principales requisitos de acceso y espaciado para viviendas residenciales (Figura 13) compuestas de una o dos unidades son:

- Espacio libre de 1 metro de distancia desde la pared exterior que lleva la carga, 1 metro desde la cumbrera y 0,5 metros a cada lado de una limahoya o una limatesa.
- Cada faldón del tejado que contenga módulos fotovoltaicos necesita dos «caminos» de acceso al mismo de cómo mínimo 1 metro de ancho.

Igualmente, las viviendas residenciales compuestas de tres o más unidades, los edificios comerciales, etc. deben cumplir unos requisitos de acceso y es-

paciado que pueden resumirse en los siguientes (OCFA 2008):

- Banda perimetral en la cubierta de al menos 1 metro de ancho.
- Un camino de al menos 1 metro de ancho de acceso central a la cubierta del edificio en ambas direcciones.
- Alrededor de lucernarios, escotillas del tejado o tomas de agua para incendios se debe dejar una distancia mínima de 1 metro.
- Los subcampos fotovoltaicos deben ser de cómo máximo 46 metros, tanto de largo como de ancho.

Además de los criterios de acceso y espaciado, los sistemas fotovoltaicos deben cumplir otras condiciones para garantizar la seguridad del equipo de extinción de incendios. Aunque no existe consenso sobre algunas de ellas, a continuación se enumeran de forma exhaustiva (Meacham B. *et al.* 2012):

- Los sistemas fotovoltaicos deben ser etiquetados y señalizados de una manera clara y sistemática, según se describe más adelante.

Es poco probable que el generador fotovoltaico cause un incendio, pero hay que adoptar precauciones cuando en el edificio incendiado exista una instalación de este tipo

- El interruptor principal de desconexión debe ser fácilmente identificable, debe estar etiquetado y debe poder ser operado sin apertura de puertas, etc. y ser accesible desde la entrada a la vivienda.
- Los conductores activos deben ser identificados con etiquetas cada cierta distancia.
- Si existen baterías deben ser claramente etiquetadas.
- Debe existir un interruptor de corte en carga de las series de módulos fotovoltaicos. Este interruptor debe poder ser accionado desde la entrada a la vivienda.
- El sistema fotovoltaico debe contar con un dispositivo o funcionalidad de detección de arcos que abra el lado de corriente continua en caso de arcos.
- Durante el proceso de autorización de un sistema fotovoltaico, debería suministrarse al puesto local de bomberos de planos con la disposición de módulos fotovoltaicos y la situación de los dispositivos de desconexión.

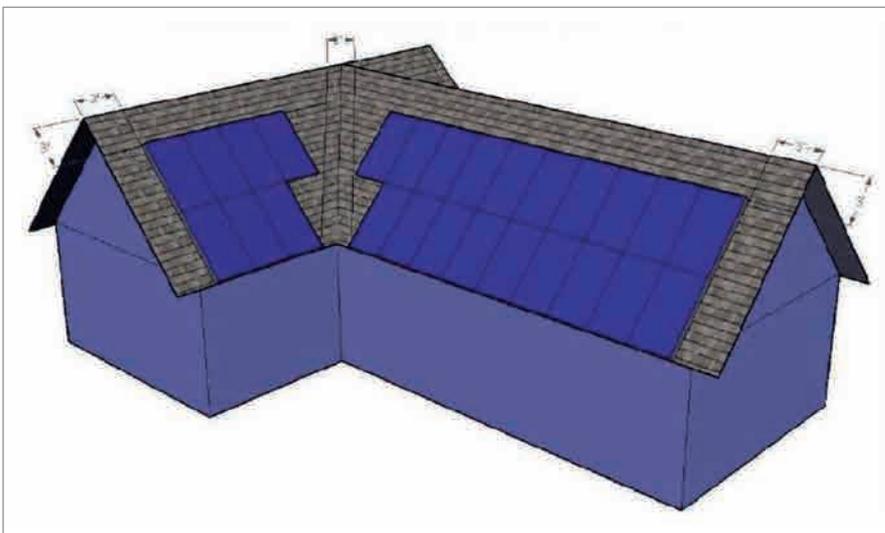


Figura 13. Acceso a tejado a dos aguas. Fuente: OCFA 2008.

Guía para la extinción de incendios en edificios con sistemas fotovoltaicos

Los incendios en los edificios con sistemas fotovoltaicos pueden ser originados por la propia instalación fotovoltaica o por otras causas habituales en edificios. Aunque es muy poco probable que el generador fotovoltaico sea el causante del incendio, es necesario conocer qué precauciones adicionales deben considerarse cuando en el edificio incendiado hay una instalación fotovoltaica.

La seguridad de los bomberos y de otro personal interviniente depende del

conocimiento y la adecuada gestión de estos riesgos a través de la formación y el entrenamiento adecuado.

El control de incendios en los que los sistemas fotovoltaicos están presentes puede requerir del equipo de intervención la adaptación de algunas de las acciones desarrolladas en otros tipos de incidentes con instalaciones eléctricas convencionales o de generación de energía. Si se identifica la presencia de los

sistemas fotovoltaicos y se entienden los riesgos asociados, se podrá mitigar la situación de la manera más segura y efectiva.

Se han encontrado del orden de 20 registros de incendios (FPRF 2010, INES 2013) con sistemas fotovoltaicos afectados, en tres de los cuales ha habido un bombero que ha sufrido un choque eléctrico. En algún caso, los bomberos han dejado quemarse un edificio al detec-

tarse la existencia de un sistema fotovoltaico.

En los últimos diez años se han realizado numerosos trabajos, investigaciones, seminarios, guías, etc. sobre el control de incendios con sistemas fotovoltaicos (FDM 2005, Slaughter R. 2006, CFOSFM 2010, OCFA 2008, TÜV 2008, Liang Ji 2009, FPRF 2010, INERIS 2010, UL 2011, BSW *et al* 2011, Haeberlin H. 2011, BPVA 2011, DSC 2011, AQC 2012,



Figura 14. Ejemplos de módulos fotovoltaicos convencionales de silicio cristalino. Fuente: páginas web de fabricantes.

Figura 15. Ejemplos de módulos fotovoltaicos convencionales de capa fina. Fuente: páginas web de fabricantes.



Fabricante: Solarcentury



Fabricante REM



Fabricante Cottopossagno

Figura 16. Ejemplos de tejas fotovoltaicas. Fuente: páginas web de fabricantes.



TEGOLASOLARE



AEG Power Solutions

Figura 17. Ejemplos de recubrimiento de módulos fotovoltaicos sobre capa de aislamiento de cubierta.



Vista exterior



Vista interior

Figura 18. Ejemplo de lucernario fotovoltaico. Fuente: Elecnor-Atersa.

Los modelos de detectores de arcos en sistemas fotovoltaicos llevan poco tiempo en el mercado como para tener una suficiente experiencia sobre su fiabilidad



Sheuten



Vidursolar



ISON21

Figura 19. Ejemplos de balcones fotovoltaicos. Fuente: páginas web de fabricantes.



Figura 20. Instalaciones fotovoltaicas en el centro comercial: Madrid-2 La Vaguada. Fuente: elaboración propia.



Figura 21. Ejemplos de sistemas fotovoltaicos. Fuente: elaboración propia.



Figura 22. Caja de corriente continua, inversor y caja de corriente alterna. Fuente: elaboración propia.

EPIA 2012, TÜV 2012, Ben England 2012, AFAC 2013, INES 2013). Los trabajos más recientes (BPVA 2011 finaliza en 2014, INES 2013) se han centrado en limitar la tensión en sistemas fotovoltaicos mediante su segmentación.

La extinción segura de un incendio con un sistema fotovoltaico pasa por considerar los criterios descritos en los puntos siguientes.

■ Identificación de sistemas fotovoltaicos

Para reconocer los sistemas fotovoltaicos e identificar las ubicaciones de los componentes clave del sistema y de los interruptores de desconexión, es con-

veniente que los bomberos conozcan los diversos tipos de módulos fotovoltaicos y diferentes formas de su instalación en los edificios, los inversores y sus conexiones, así como el resto de componentes de los sistemas fotovoltaicos. (Figuras 14 a 22)

Para identificar el resto de componentes del sistema fotovoltaico y, especialmente los interruptores de desconexión, es fundamental que la señalización se realice según los siguientes criterios:

- Toda el sistema fotovoltaico debe estar señalizado.
- La señalización debe ser tanto interna como externa para todos los elementos del circuito de corriente con-

tinua: cerramientos, canalizaciones, cableado (señalizado cada cierta distancia), cajas de conexión, etc., así como para los inversores y cuadros y cajas de corriente alterna.

- Los materiales utilizados para el marcaje deben ser reflectantes, resistentes a la intemperie y reciclables.
- Todas las letras empleadas deben de escribirse en mayúsculas y con excelente contraste con el fondo.

Existen distintas normativas que indican la necesidad del marcado de sistemas fotovoltaicos, por ejemplo, la norma UNE 20460-7-712:2006 «Instalaciones eléctricas en edificios. Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación solar fotovoltaica».

Otros estándares recogen los criterios que debe cumplir la señalización de un sistema fotovoltaico (Revista *Emergencia 112*, 2011, norma francesa UTE C15-712 2008, código USA IFC 605.11.1.1-4, código USA NFPA 11, 2012).

■ Identificación de los riesgos de los sistemas fotovoltaicos

Los riesgos específicos del equipo de extinción de incendios en edificios con sistemas fotovoltaicos son (UL 2011): choque eléctrico, resbalones y caídas, incremento de carga en la cubierta, peligro por inhalación de sustancias tóxicas y riesgos de las baterías.

El bombero ha de saber que aunque desconecte los cuadros eléctricos y el inversor fotovoltaico se apague, puede ocurrir que un cable cualquiera puede tener tensión por estar conectado al campo fotovoltaico. En consecuencia, si lo corta puede producirse un cortocircuito o un arco eléctrico en el punto de corte.

■ Dimensionar el tamaño del incendio

En el caso de que exista un sistema fotovoltaico involucrado en el incendio se deben tomar las siguientes medidas de seguridad:

- Usar siempre el Equipo de Respiración Autónoma (ERA) y el Equipo de Protección Individual (EPI).
- Evitar llevar encima joyas y piezas metálicas.
- Usar herramientas con aislamiento eléctrico.

Los bomberos deben determinar lo antes posible si el sistema fotovoltaico está afectado por el fuego y notificarlo al mando. La existencia del sistema fotovoltaico no impide necesariamente el inicio de las tácticas ofensivas, ya que el sistema puede no tener impacto sobre el fuego. En cualquier caso, las acciones para llevar a cabo una estrategia ofensiva necesitan ser flexibles debido a la dificultad de «desconectar» el sistema fotovoltaico.

■ Localización y desconexión del sistema fotovoltaico

En los edificios equipados con sistemas fotovoltaicos, el control de los servicios eléctricos generales debe incluir también el sistema fotovoltaico y la sala de baterías. La dotación responsable de cortar el suministro eléctrico convencional tiene que localizar todos los interruptores relacionados con el sistema fotovoltaico en el lado de corriente

continua y en el lado de corriente alterna del inversor o inversores y, si existe, el área de almacenamiento de energía. La desconexión del sistema fotovoltaico debe realizarse siguiendo la siguiente secuencia (FDM 2005):

- Primera acción: apertura del interruptor de corriente alterna del inversor.
- Segunda acción: comprobación que el inversor ha parado.
- Tercera acción: desconexión del interruptor de corriente continua del inversor o, si este no existe, desconexión del interruptor general de la caja de paralelos.

Hay que tener en cuenta que el sistema fotovoltaico puede disponer de un interruptor de seguridad que realiza estas acciones. Este interruptor, si existe, estará señalizado y situado en la entrada del edificio. En algunos casos, estos interruptores no sólo proporcionan una única apertura de todo el generador fotovoltaico, sino también la apertura de cada serie de módulos, lo que aumentará mucho la seguridad de la instalación. (Figuras 23 y 24)

Los bomberos deben ser conscientes de que, incluso accionando todos los interruptores antes mencionados, el generador fotovoltaico mantendrá tensión.

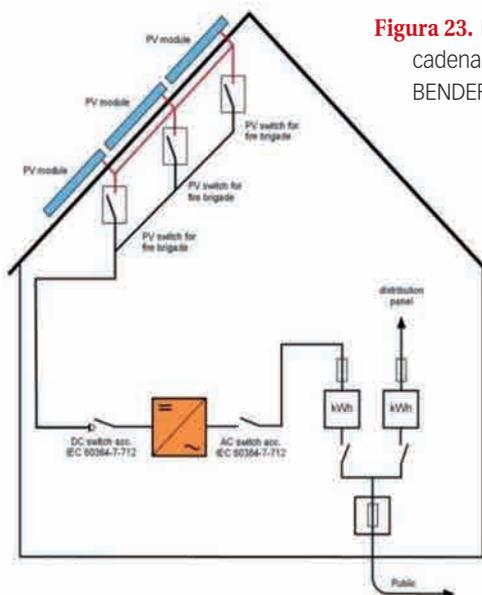


Figura 23. Interruptor de corte en carga para cadena de módulos fotovoltaico. Fuente: BENDER.



Figura 24. Panel de control de sistema fotovoltaico en la entrada del edificio. Fuente: SANTON.

Es decir, en prácticamente la totalidad del periodo diurno todo el cableado existente entre las cadenas de los módulos fotovoltaicos y la caja de conexiones de corriente continua (o el inversor, en el caso de que el interruptor de corriente continua esté integrado en el mismo) estará energizado.

■ Métodos de extinción

Cuando se enfrenta a una estructura en llamas equipada con sistema fotovoltaico, la decisión de emplear o no agua para extinguir el fuego es de gran importancia. En principio hay que evitar dirigir chorros de lanza directamente a la llama y emplear solo extintores químicos secos. Si se emplea el agua, se pueden seguir las siguientes recomendaciones (UL 2011):

- La lanza tiene que tener una presión de unos 700 kPa.
- Dirigir el chorro con un ángulo de 30° para prevenir una corriente eléctrica aguas arriba hacia el operario.
- El operario debe estar a una distancia mínima de la llama que depende de la tensión eléctrica de la instalación o sistema.
- Los chorros directos no se deben emplear.
- Se debe tener en cuenta que el suelo mojado, especialmente si está encharcado, aumenta el riesgo de descarga eléctrica.
- Las cajas eléctricas expuestas a la intemperie no son resistentes a la penetración del agua de los chorros de lanza, por lo que estas pueden presentar un riesgo eléctrico.

■ Acceso a cubiertas (CFOSFM 2010)

Un generador fotovoltaico en un tejado puede afectar a la colocación de una escalera, obligando a la dotación de bomberos a emplear otros métodos para acceder a la cubierta ya que las escaleras nunca deben ser apoyadas en

los módulos. En casas con techo inclinado, los paneles fotovoltaicos normalmente se encuentran en las aguas del tejado con orientación sur. Las estructuras comerciales y residenciales con cubiertas planas pueden tener una gran parte de la cubierta con módulos fotovoltaicos.

La estructura de la cubierta debe ser evaluada para determinar la posibilidad de colapso debido al peso del sistema fotovoltaico. Una estructura de madera, de chapa, etc. puede colapsarse si el fuego les ha degradado lo suficiente. En general, un módulo fotovoltaico tiene un peso de hasta 25 kilogramos y una superficie de hasta 2 m², es decir, unos 12,5 kg/m². Su estructura soporte puede pesar del orden de 30 kilogramos por módulo; por tanto, el peso total por unidad de superficie será de unos 27,5 kg/m².

Los módulos fotovoltaicos, estructuras y canalizaciones representan riesgo de resbalón, caída o tropiezo para los bomberos. Esto es realmente cierto en las siguientes circunstancias:

- Cuando los módulos están integrados en una cubierta inclinada puede resultar extremadamente peligroso y resbaladizo andar sobre ellos.
- En las estructuras comerciales, los módulos fotovoltaicos pueden cubrir la mayor parte de la cubierta y, por tanto, hay poco espacio donde caminar.

Los módulos nunca deben ser pisados ya que tienen una superficie resbaladiza, especialmente si está mojada. Por otro lado, no suelen soportar el peso de una persona.

Como los módulos fotovoltaicos producen electricidad continuamente durante el día, no deben moverse de donde estén instalados, excepto si esto lo realiza un técnico cualificado. Los bomberos pueden verse en la necesidad de contener el fuego y evitar su propagación hasta que los módulos se puedan quitar con seguridad.

Conclusiones

El pequeño número de siniestros registrados demuestra que la probabilidad de incidente en un sistema fotovoltaico es baja. Esto es debido a la calidad de los materiales y equipos empleados, al diseño adecuado de las instalaciones y a un montaje y mantenimiento suficientes.

A pesar de ello, existen unos riesgos potenciales en los sistemas fotovoltaicos que dan lugar a diferentes criterios de seguridad según los países. Mientras en algunos países del entorno europeo se insiste en la calidad de las instalaciones desde el punto de vista del aislamiento y la utilización de sistemas de protección basados en los convencionales, en otros países, principalmente en EE. UU., siguiendo los criterios establecidos para las instalaciones eléctricas convencionales, se establece la obligatoriedad del uso de detectores de arco.

Existen pocos modelos de detectores de arcos en sistemas fotovoltaicos, tanto a nivel de dispositivo como integrados en los inversores, y llevan poco tiempo en el mercado como para poder tener una suficiente experiencia sobre su fiabilidad y la de los ensayos aplicados. Por tanto, es necesario avanzar en las líneas siguientes:

- Caracterización de los distintos tipos de arco eléctrico en los circuitos de corriente continua de los sistemas fotovoltaicos.
- Diseño de detectores de arco que puedan distinguir entre arcos serie y arcos paralelo.
- Perfeccionamiento de los ensayos a realizar sobre los detectores de arco para garantizar un buen funcionamiento de los dispositivos que pasen los ensayos.

No existe consenso sobre la obligatoriedad de que exista un interruptor de desconexión del circuito de corriente continua de un sistema fotovoltaico ac-

cesible al cuerpo de extinción de incendios, ni a las acciones que debe realizar este interruptor.

En el diseño de los sistemas fotovoltaicos en edificios habitualmente no se consideran los criterios de acceso para el equipo de extinción de incendios, ni otras cuestiones relativas a la seguridad del personal de emergencia.

Se considera muy importante una formación y entrenamiento adecuados de los equipos de extinción de incendios para alcanzar un conocimiento suficiente de los sistemas fotovoltaicos que permita su identificación y facilite el establecimiento de acciones eficaces y seguras en la extinción de incendios.

Esperamos que este trabajo contribuya a una mayor seguridad para los usuarios y para los bomberos que pueden verse involucrados en incendios en edificios con sistemas solares fotovoltaicos. ♦

Este trabajo ha sido financiado gracias a una ayuda a la investigación concedida por FUNDACIÓN MAPFRE.

Referencias

- [1] AEG Power Solutions www.aegps.es
- [2] AFAC 2013. Australian Fire and Emergency Service Authorities Council. Safety considerations for photovoltaic arrays.
- [3] AQC 2012. Agence Qualité Construction. Le Photovoltaïque raccordé au réseau dans le Bâtiment.
- [4] Ben England 2012. An Investigation into Arc Detection and Fire Safety Aspects of PV Installations. Tesis doctoral. Murdoch University, Perth, Australia, 2012.
- [5] BENDER www.bender.org
- [6] Bieniek S. *et al*, 2011. Fire prevention in PV plants using inverter integrated AFCI, 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Hamburg, Germany, 2011.
- [7] BPVA 2011. British Photovoltaic Association. Sistemas fotovoltaicos y fuego. Asociación Británica de Fotovoltaica.
- [8] BSW *et al* 2011. Asociación Federal Alemana de la Industria Solar. Protección contra el Fuego. Planificación, Construcción y Mantenimiento de los Sistemas FV.
- [9] Calais *et al* (2008). Over-current protection in PV array installations. IEEE Transactions on energy conversion. Vol 24 No 1 Marzo 2009.
- [10] CFOSFM 2010. CAL FIRE, Office of the state fire Marshal. Fire Operations for PV Emergencies Document November 2010.
- [11] Cottopossagno www.cottopossagno.com
- [12] CTE 2006. RD 314/2006 de aprobación del Código Técnico de la Edificación (Capítulo 3, artículo 15) HE5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica (actualizado por Orden FOM/1635/2013, BOE de 12 de septiembre de 2013).
- [13] DSC 2011: Direction de la Sécurité Civile. Intervention en présence de panneaux photovoltaïque.
- [14] ELECNOR-ATERSA www.atersa.com
- [15] EPIA 2012. European Photovoltaic Industry Association. Global Market Outlook for PV until 2016. Mayo, 2012.
- [16] FPRF 2010. Fire Protection Research Foundation. Fire Fighter Safety and Emergency Response for Solar Power Systems. MA, USA.
- [17] FDM 2005. Fire Department of Munich. Photovoltaic: Accident prevention during firefighting.
- [18] FPRF 2010: Fire Protection Research Foundation. Fire Fighter Safety and Emergency Response for Solar Power Systems. MA, USA.
- [19] Haeberlin 2010. Arc Detector as an External Accessory Device for PV Inverters for Remote Detection of Dangerous Arcs on the DC Side of PV Plants. 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Valencia, Spain 2010.
- [20] Haeberlin, H 2011. PV and Fire Brigade Safety: No Panic, but Realistic Assessment of Danger and Possible Countermeasures, Haeberlin, H. Borgna, L. y Schaerf, Ph. (Universidad de Bern) en la 26ª European Photovoltaic Solar Energy Conference Hamburgo 2011.
- [21] Hernández *et al* (2009). Guidelines for protection against electric shock in PV generators. ISES-AP 3 International Solar Energy Society Conference – Asia Pacific Region. Sydney 2008.
- [22] Hernández *et al* (2010). Characterization of the insulation and leakage currents of PV generators: relevance for human safety. Renewable Energy 35 (2010) 593 – 601. Elsevier.
- [23] IEC 61730-2:2004 Certificación de seguridad de módulos fotovoltaicos-Parte 2: Requisitos para ensayos. Punto 10.8 Ensayo de fuego.
- [24] IFC 605.11.1.1-4. International Fire Code. USA.
- [25] IMG 2012. Guía de especificaciones técnicas relativas a la protección de personas y de bienes en instalaciones FV conectadas a red. Editada por el sindicato de energías renovable Francés.
- [26] INERIS 2010. L'Institut National de l'Environnement industriel et des Risques. Prévention des Risques associés à l'implantation de cellules photovoltaïques sur des bâtiments industriels ou destinés à des particuliers, 2010.
- [27] INES 2013. Institut National d'Énergie Solaire. Maltriser le Risque lié aux Installations photovoltaïques, 2013.
- [28] ISON21 <http://www.ison21.es>
- [29] Johnson *et al* 2011. Photovoltaic DC Arc Fault Detector testing at Sandia National Laboratories. 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2011.
- [30] Johnson J. *et al* 2012. Differentiating series and parallel photovoltaic arc-faults, 38th IEEE PVSC, Austin, TX, 4 June, 2012.
- [31] Liang Ji. 2009. International Photovoltaic Reliability Workshop II. Experience and Studies, Underwriters Laboratories, Inc. 2009. Arizona (USA)
- [32] Meacham B. *et al* 2012. Fire Safety Challenges of Green Buildings. Springer.
- [33] NEC 2011. National Electrical Code USA. Artículo 690.11 (PV). Artículo 210.12 (ac)
- [34] NEC 690-11. Nacional Electric Code, 2011 Edition. NFPA 70, National Fire Protection Association. Batterymarch, MA.
- [35] NFPA 11, 2012. Uniform building Code. National Fire Protection Association.
- [36] NZS 5033 Installation and safety requirements for photovoltaic (PV) arrays. Standards Australia y New Zealand.
- [37] Norma UNE-EN 20460-7-712:2006. Instalaciones eléctricas en edificios. Reglas para las instalaciones y emplazamientos especiales. Sistemas de alimentación solar fotovoltaica.
- [38] OCSA 2008. Orange County Fire Chiefs' Association. Guideline for Fire Safety Elements of Solar Photovoltaic Systems, 2008, Orange, USA.
- [39] REM www.rem-gmbh.com
- [40] Revista *Emergencia* 112, 2011. Nº 99. Nueva señal para identificar instalaciones fotovoltaicas.
- [41] SANTON www.santonswitchgear.com
- [42] SCHEUTEN SOLAR www.scheutensolar.com
- [43] Slaughter, R 2006. Fundamentals of Photovoltaics for the Fire Service.
- [44] <http://osfm.fire.ca.gov/training/pdf/photovoltaics/lp06emergency-response.pdf>
- [45] Solarcentury www.solarcentury.com
- [46] Strobl *et al* 2010. Arc Faults in Photovoltaic Systems. Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts (HOLM), 2010.
- [47] TEGOLASOLARE www.tegola-solare.com/
- [48] TÜV 2008. Fire Safety Risks at PV Systems and Risk Minimization 2008.
- [49] TÜV 2012. Fire Safety Risks at PV Systems and Risk Minimization 2012.
- [50] UL 2011. Underwriters Laboratories, Inc. Firefighter Safety and Photovoltaic Installations Research Project.
- [51] UL 1699B 2011. Outline of investigation for photovoltaic (PV) DC arc-fault circuit protection. Underwriters Laboratories, Abril 2011.
- [52] UTE C15-712 2008. Installations électriques a base tension. Guide Pratique. Installations photovoltaïques.
- [53] VIDUR SOLAR www.vidurglass.com

Las empresas, actores clave para mejorar la salud de la sociedad

Responsables de Recursos Humanos de distintas empresas debaten en el ámbito del Salón Internacional de la Seguridad (SICUR14) sobre la importancia de promover la salud desde la empresa

Cuatro de cada diez accidentes de trabajo mortales se deben a accidentes de tipo cerebrovascular, en gran parte relacionados con hábitos poco saludables. De ahí la importancia de promocionar un estilo de vida sano, que minimice la incidencia de un gran número de enfermedades de origen laboral que limitan la calidad de vida y producen un impacto directo en la actividad profesional.

Este es uno de los mensajes que transmitieron recientemente distintos responsables de las áreas de Recursos Humanos de empresas como MAPFRE (con la participación de Antonio García Casquero, Director Corporativo de Relaciones Laborales y Sociales de MAPFRE),

Mahou-San Miguel, FCC, FREMAP o Acciona, entre otras, en el transcurso de la jornada «La salud del trabajador. Clave del desarrollo sociolaboral», que se celebró en el ámbito del Salón Internacional de la Seguridad (SICUR), organizada en Madrid por FUNDACIÓN MAPFRE y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Todos ellos destacaron además la labor fundamental de los servicios de prevención, que tienen que ser capaces de evolucionar hacia un enfoque integral de la salud de los trabajadores y conseguir que el entorno laboral sea el marco en el que se puedan diseñar estrategias eficaces para mejorar su salud desde una perspectiva global.



De izquierda a derecha: Carlos Checa, Gregorio Varela, Antonio Guzmán, Dolores Limón, Dolores Solé, Ignacio Ara y Juan Antonio Pareja.

También se trasladó la importancia de concienciar a la sociedad de que su salud depende más de la prevención de ciertos factores de riesgo que de políticas sanitarias reactivas y que nunca es tarde para empezar a cambiar hábitos, un aspecto muy vinculado a su competitividad y muy relacionado con su calidad de vida a medida que envejecen (envejecimiento activo).

Otro de los aspectos objeto de debate fue la necesidad de que exista un historial médico único al que puedan acceder los sistemas de atención primaria, los servicios de medicina del trabajo, las mutuas de accidentes y las aseguradoras con el fin de ofrecer una asistencia más eficiente y rentable.

La jornada, inaugurada

por Dolores Limón, Directora del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, y Antonio Guzmán, Director del Área de Salud y Prevención de FUNDACIÓN MAPFRE, contó también con la participación de destacados expertos en salud como Gregorio Varela, Presidente de la Fundación Española de la Nutrición; Ignacio Ara, Subdirector General de Deporte y Salud del Consejo Superior de Deportes, y Juan Antonio Pareja, del equipo médico del Servicio de Neurología del Hospital Quirón.

Todos ellos pusieron de manifiesto la importancia de alimentarse de forma correcta, realizar actividad física de forma regular y descansar y dormir bien, aspectos determinantes para tener buena salud.



De izda. a dcha.: Juan Manuel Cruz (Acciona), Antonio García (MAPFRE), Carlos Checa (FREMAP), Ana Ávila (Mahou-San Miguel) y Francisco Martín (FCC).

La Fundación concede sus Premios Sociales 2013

El objetivo de estos cuatro galardones, cuya dotación asciende a 30.000 euros cada uno, es reconocer a personas o instituciones que han realizado actuaciones destacadas en beneficio de la sociedad

FUNDACIÓN MAPFRE ha concedido los Premios Sociales 2013, que se otorgan en cuatro categorías: Premio «José Manuel Martínez a toda una vida profesional», Premio a la «Mejor gestión medioambiental», Premio a la «Mejor acción solidaria» y Premio a la «Mejor acción de prevención de accidentes y de daños a la salud».

El objetivo de estos premios, de carácter internacional, es reconocer a las personas o instituciones que han realizado actuaciones destacadas en beneficio de la sociedad. La dotación de cada uno de los premios asciende a 30.000 euros, y se entregarán próximamente. En la edición de este año se han recibido más de 400 candidaturas de España, Portugal e Iberoamérica. De todas estas, han resultado premiadas las siguientes:

- **Premio «José Manuel Martínez a toda una vida profesional»** al Doctor Joaquín Barraquer Moner (Barcelona, 1927), en reconocimiento a una persona mayor de 70 años por una fecunda y ejemplar vida profesional al servicio de la sociedad y de las personas. Su vida profesional siempre ha estado ligada a su actividad investigadora y ha sido pionero en muchos avances técnicos en oftalmología y cirugía ocular. Entre sus muchas actuaciones destacan los numerosos aparatos creados para facilitar la cirugía del trasplante de córnea, de la catarata o del glaucoma, su contribución al diseño de lentes intraoculares y la constitución del Banco de Ojos para tratamientos de la ceguera, el primero en Europa.

- **Premio a la «Mejor gestión medioambiental»** al Servicio de Protección de la Naturaleza (SEPRONA) de la Guardia Civil. Creado en el año 1988, las líneas de trabajo de este singular servicio están dirigidas principalmente a la prevención, investigación y extinción de incendios forestales, a la defensa de los espacios naturales, al control de vertidos y a la lucha contra la contaminación del medio ambiente, el comercio ilegal de especies protegidas y la realización de actividades cinegéticas y de pesca irregulares. Las actuaciones que cuentan con mayor demanda

Fundación Michou y Mau IAP, de México, recibe el premio a la mejor acción de prevención de accidentes y daños a la salud

son aquellas relacionadas con la gestión de residuos, las que contribuyen a proteger la fauna salvaje y los animales domésticos y las que permiten investigar delitos relacionados con incendios forestales.

- **Premio a la «Mejor acción solidaria»** a Fundación NIPACE, por su proyecto Ayuda a Niños y Jóvenes con Lesión Cerebral. Esta entidad sin ánimo de lucro, creada en el año 2004 y con sede en Guadalajara, tiene como principal objetivo rehabilitar a niños y jóvenes con lesión cerebral y trastornos neuromotores. Para ello cuenta con uno de los principales centros de rehabilitación neurológica en España y Europa, que contribuye a mejorar los movimientos de estos pacientes, estimular su desarrollo intelectual, incrementar su nivel de comunicación e intensificar su relación social.

- **Premio a la «Mejor acción de prevención de accidentes y de daños a la salud»** a Fundación Michou y Mau IAP, de México. Esta entidad, creada en 1998, tiene como principal objetivo que todos los niños mexicanos, especialmente aquellos con escasos o nulos recursos, que hayan sufrido quemaduras severas tengan la oportunidad de recibir la mejor atención médica especializada para su supervivencia y rehabilitación. Entre sus principales actividades destaca el desarrollo de programas de prevención basados en talleres educativos que imparten voluntarios y educadores y centros de asistencia telefónica (24 horas) para emergencias de niños quemados.



FUNDACIÓN MAPFRE

Bienvenida a los investigadores becados por FUNDACIÓN MAPFRE

La sede de la Fundación en Madrid acoge esta jornada

En este acto se recibió a los beneficiarios de las Ayudas a la Investigación Ignacio Hernando de Larramendi y la beca Primitivo de Vega de la convocatoria 2013, cuya dotación supera los 750.000 euros.

En esta convocatoria se han concedido 51 ayudas y becas con el objetivo de fomentar el estudio y la investigación en las áreas de seguros, prevención, salud y medio ambiente. En concreto, se han destinado 20 ayudas al área de la salud, 20 a las de prevención y medio ambiente, 10 a seguros y una a la atención a las personas mayores.

Participantes

En el acto de entrega de las becas participaron Mercedes Sanz, Directora del Área de Seguros y Previsión Social, y Antonio Guzmán, Director del



Los investigadores beneficiados y sus tutores, durante el acto celebrado en la sede de la Fundación.

Área de Salud y Prevención. También participó José Miguel Rodríguez-Pardo del Castillo, Doctor en Ciencias Económi-

cas por la Universidad Complutense de Madrid y Doctor en Biomedicina y Ciencias de la Salud por la Universidad Eu-

ropea de Madrid, que impartió la conferencia titulada «Hacia un nuevo paradigma de la medida de la supervivencia humana».

En el acto estuvieron presentes los investigadores becados y los tutores de FUNDACIÓN MAPFRE que coordinarán sus trabajos a lo largo de 2014. La primera convocatoria de ayudas a la investigación se realizó en el año 1979. Desde entonces, FUNDACIÓN MAPFRE ha otorgado cerca de 1.800 becas.

Los resultados de la convocatoria se pueden consultar de forma detallada en la página web www.fundacionmapfre.org



Mesa presidencial del acto de recepción de los investigadores beneficiados.

Los accidentes de las personas mayores, a debate en la Real Academia Nacional de Medicina

Participación de FUNDACIÓN MAPFRE en este ciclo de conferencias

El impacto que tienen los accidentes en las personas mayores dentro del hogar, así como las medidas de prevención que conviene tener en cuenta, fueron los temas principales de la primera sesión del ciclo de conferencias «Prevención de accidentes en personas mayores», que FUNDACIÓN MAPFRE y la Real Academia Nacional de Medicina (RANM) inauguraron el pasado 5 de marzo en Madrid.

En este encuentro, Jesús Hernández, del Área de Salud y Prevención de la Fundación, destacó que según el *Estudio de víctimas de incendio en España 2012*, elaborado por esta entidad, «el 40 por ciento de las víctimas mortales por esta causa son personas mayores de 65 años».

En este marco, señaló que «los detectores de incendios, que tienen un coste asequible y son de fácil instalación, contribuyen en gran medida a



De izquierda a derecha, Gonzalo Piédrola, José Manuel Ribera y Antonio Guzmán.

disminuir sus consecuencias, convirtiéndose en el mejor sistema para sobrevivir en caso de incendio por la noche y mientras se duerme». Acerca de su uso y ubicación, indicó además que es importante colocar el dispositivo entre las zonas donde más incendios

se producen (cocina, salón y dormitorio) y que «si suena la alarma y no se puede sofocar, es conveniente cerrar las puertas donde se ha producido el fuego, salir de la vivienda y llamar a los bomberos».

En la segunda jornada del ciclo, dedicada a los accidentes fuera del hogar, participó Julio Laria, Director del Área de Seguridad Vial de FUNDACIÓN MAPFRE, con la conferencia «Accidentes de tráfico: cuántos y cómo en el caso del mayor».

En el ciclo, coordinado por el profesor José Manuel Ribera Casado, Académico de Número, participaron los profesores Gonzalo Piédrola, Académico de Número, quien analizó la prevención de las intoxicaciones alimentarias, y Emilio Vargas, de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, quien dio a conocer cómo se pueden prevenir aquellas intoxicaciones cuyo origen es el consumo inadecuado de fármacos.



Jesús Hernández, de FUNDACIÓN MAPFRE, durante la presentación del estudio sobre víctimas de incendio en España.

Más de 110.000 personas participan en la VIII Semana de Prevención de Incendios



Esta actividad, promovida por FUNDACIÓN MAPFRE, tiene como objetivo fomentar la prevención de incendios en el hogar

La Semana de la Prevención es una iniciativa impulsada por FUNDACIÓN MAPFRE con el objetivo de difundir pautas de autoprotección para que los ciudadanos tomen conciencia de los riesgos de incendios en sus hogares y aprendan a evitarlos.

En concreto, este año se ha hecho especial hincapié en el uso de los detectores, el mejor sistema para sobrevivir en caso de incendio por la noche y mientras se duerme.

Durante la Semana de Prevención de Incendios, FUNDACIÓN MAPFRE ha entregado material específico con la colaboración de un total de 27 servicios de ex-

tinción que han participado. Entre estos materiales destaca la publicación *Mi cuaderno de la prevención de incendios y otros riesgos*, dirigida a niños de edades comprendidas entre 5 y 12 años, y que están disponible de manera gratuita en la página web www.semanadelaprevencion.com

En esta edición también se han realizado talleres para sensibilizar a los más pequeños, jornadas técnicas para profesionales, charlas de autoprotección, sesiones informativas, jornadas de puertas abiertas en parques de bomberos y simulacros de evacuación en colegios, centros de mayores y hospitales.

La campaña Pon Salud en tu Entorno fomenta el uso eficiente de la energía en Granada

Más de 3.500 escolares de la provincia visitarán los talleres educativos

FUNDACIÓN MAPFRE y el Ayuntamiento de Granada presentaron el pasado mes de enero en esta ciudad la campaña Pon Salud en tu Entorno, cuyo objetivo es sensibilizar a los más jóvenes sobre la importancia que tiene el uso eficiente del agua y la energía para fomentar el desarrollo sostenible y mejorar el medio ambiente, factor clave en la salud de la población.

En la campaña, que se desarrollará a lo largo de este curso escolar, participarán más de 3.500 escolares de primaria de 45 centros escolares a través de cerca de un centenar de talleres educativos.

Los encargados de impartir estos talleres son monitores especializados que, de manera sencilla y amena, transmitirán a

los escolares el valor que tiene el agua y la energía y les facilitarán pautas para que puedan contribuir a reducir su consumo y su contaminación, tanto en sus hogares como en los centros educativos.

Material pedagógico

Los beneficiarios de la campaña también recibirán material pedagógico, como el cómic *La Ecopatrulla. Pon salud en tu entorno*, protagonizado por tres jóvenes (Paula, Manu y Jacobo) y un perro (Dag), personajes ficticios que visitarán Granada de la mano de sus profesores, quienes les trasladarán la importancia de aplicar la regla de las tres erres (reducir, reutilizar y reciclar) para cuidar el medio ambiente.



Antonio Guzmán y José Torres, durante la presentación de la campaña.

En la presentación de la campaña participaron el Alcalde de Granada, José Torres, y el Director del Área de Salud y Prevención de FUNDACIÓN MAPFRE, Antonio Guzmán.

ControlaTIC: prevención de la adicción a las nuevas tecnologías

Nueva campaña de FUNDACIÓN MAPFRE, en colaboración con el Centro de Seguridad en Internet Protégeles y el Grupo Siena

FUNDACIÓN MAPFRE ha puesto recientemente en marcha ControlaTIC, un programa educativo dirigido a jóvenes cuyo objetivo principal es difundir el uso responsable de las nuevas tecnologías, con especial énfasis en las tecnologías.

España se encuentra entre los países europeos con mayor desarrollo de conductas adictivas a Internet. Por ello, durante 2014 estos talleres llegarán a cerca de 10.000 jóvenes de entre 11 y 16 años en las regiones de Murcia y Castilla-La Mancha, a través de 200 talleres presenciales en centros edu-

cativos. En ellos, psicólogos del Centro de Seguridad en Internet Protégeles les ayudarán a evaluar su situación, identificar señales de alarma, qué hacer ante un problema, cómo ayudar a un amigo que está enganchado y cómo resolver situaciones conflictivas en la Red.

Para poner freno a este tipo de conductas, FUNDACIÓN MAPFRE también ha elaborado, en colaboración con el Centro de Seguridad en Internet Protégeles y el Grupo Siena, guías didácticas para profesores y familias en las que se establecen las pautas necesarias para



Presentación de la campaña en el colegio San Pablo de Murcia.

tratar estos síntomas, evitar riesgos futuros y reducir el nivel de dependencia de los jóvenes con el móvil, las tabletas, el ordenador y los videojuegos, entre otros aparatos.

Las guías recomiendan a los profesores que estén pendientes de si sus alumnos disminuyen el rendimiento escolar y sufren cambios importantes en sus relaciones personales y en su comportamiento. También recomiendan a los padres limitar el tiempo que los menores dedican a las nuevas tecnologías, estableciendo lugares abiertos y comunes y tiempos limitados (no superiores a las dos horas al día) para utilizarlos; y evitar que utilicen el ordenador y el móvil para relle-

nar tiempos muertos o antes de cumplir con sus responsabilidades.

La campaña ha arrancado en el colegio San Pablo de la ciudad de Murcia, donde se ha presentado la campaña en la región. En el acto estuvo presente el Consejero de Educación, Universidades y Empleo de la Región de Murcia, Pedro Antonio Sánchez, junto con Antonio Guzmán, Director del Área de Salud y Prevención de FUNDACIÓN MAPFRE; Guillermo Cánovas, Presidente del Centro de Seguridad en Internet Protégeles; José María de Moya, Director General del Grupo Siena, y María Carmen Blaya, Directora del CEIP San Pablo de Murcia.

Para más información: www.controlatic.org

Los talleres llegarán este año a cerca de 10.000 jóvenes de entre 11 y 16 años de la Región de Murcia y de Castilla-La Mancha



Educa tu Mundo supera las 380.000 visitas en 2013

El portal educativo de FUNDACIÓN MAPFRE aumenta en un 245% el número de visitas con respecto al año anterior

El proyecto Educa tu Mundo superó en 2013 las 380.000 visitas y alcanzó los cerca de 13.000 seguidores en Facebook, dos datos que revelan el éxito de esta web, que FUNDACIÓN MAPFRE puso en marcha en 2012 con el objetivo de fomentar la adquisición de hábitos seguros, saludables y sostenibles que ayuden a mejorar la calidad de vida y la salud de la sociedad.

La web www.educatumundo.com consta de diferentes secciones, una infantil y juvenil, para niños de 3 a 12 años,



otra dirigida a las familias y una tercera orientada a los profesionales de la educación. También facilita a sus visitantes el material didáctico y

pedagógico que el Área de Salud y Prevención utiliza en sus programas educativos y que puede descargarse de forma gratuita.

Las secciones más visitadas son aquellas en las que se dan a conocer noticias relacionadas con la alimentación, el ejercicio físico y la prevención de accidentes, así como juegos que contribuyen a que los más pequeños aprendan hábitos sanos de forma amena.

Entre estos destaca Prevenland (www.prevenland.com), un juego virtual que les permite divertirse, chatear y jugar con otros usuarios, siempre de manera segura, y siempre para transmitirles valores educativos y sociales.

Recibimos el Premio Fundación Fuego 2013

FUNDACIÓN MAPFRE recibe el galardón por su trabajo en favor de la prevención de incendios



FUNDACIÓN MAPFRE ha sido galardonada recientemente con uno de los Premios Fundación Fuego 2013 por la labor que lleva a cabo en favor de la prevención de incendios.

El acto, celebrado el pasado 6 de marzo en la ciudad de Ávila, fue presidido por su Alcalde, Miguel Ángel García, quien destacó el interés de FUNDACIÓN MAPFRE por la prevención y la gran relación que, desde hace años, une a esta ciudad con MAPFRE.

Estos galardones que concede la Fundación Fuego, dirigida a promover la seguridad contra incendios y emergencias en España, tienen como objetivo principal reco-

nocer a aquellas personas o entidades que han destacado en el desarrollo de la prevención de incendios y han contribuido a mejorar el nivel de seguridad y bienestar de la sociedad.

Además de FUNDACIÓN MAPFRE, fueron galardonados Francisco Vañó, Diputado por Toledo y Portavoz en la Comisión de Discapacidad del Congreso de los Diputados, a quien se le reconoció su esfuerzo y apoyo a todas las iniciativas que buscan mejorar la seguridad de las personas con discapacidad; y Carlos G. Touriñan, Director del Área de Seguridad y Movilidad de A Coruña, como referente nacional en el ámbito de las emergencias.

6.500 niños cántabros aprenden a evitar accidentes

Presentación del programa educativo CuidadosOS en la comunidad cántabra

FUNDACIÓN MAPFRE, en colaboración con la Consejería de Economía, Hacienda y Empleo y Deporte de Cantabria, presentó en Renedo de Piélagos (Santander) el programa educativo CuidadosOS, que se desarrollará en esta comunidad durante los próximos meses.

El objetivo de esta iniciativa, en la que se prevé que participen más de 6.500 niños, es fomentar la prevención de accidentes en la infancia, tanto en el ámbito escolar como doméstico.

Para ello, se desarrollará en los colegios un taller educativo en el que los más pequeños aprenderán cómo actuar en caso de emergencia y conocerán distintos ele-



mentos de protección contra incendios, así como nociones básicas de primeros auxilios.

Antonio Guzmán, Director del Área de Salud y Prevención de FUNDACIÓN MAPFRE, destacó durante la presentación de la campaña, que «con esta iniciativa queremos contribuir a que los menores adquieran hábitos de autoprotección y que estos se incrementen y

refuercen durante sus primeras etapas educativas».

FUNDACIÓN MAPFRE entregará material educativo gratuito (disponible en español e inglés) a escolares y profesores «con el objetivo de que pequeños y mayores aprendan a reconocer estos riesgos y puedan evitarlos».

Además de Antonio Guzmán, en la presentación de la campaña, celebrada en el Colegio Virgen de Valencia

en Renedo de Piélagos, participaron Cristina Mazas, Consejera de Economía, Hacienda y Empleo; María Luisa Sáez de Ibarra, Directora General de Centros y Personal Docente del Gobierno de Cantabria, y Amalio Sánchez, Director del Instituto Cántabro de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Según el último estudio sobre Detección de Accidentes Domésticos y de Ocio (Informe DADO), que publica el Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad, seis de cada 100 españoles y más del 10 por ciento de los hogares españoles sufrieron un accidente doméstico o de ocio, la cuarta causa de mortalidad en la Unión Europea.

Colaboración con el Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores (INAPAM) y la Cruz Roja Mexicana

La campaña Con Mayor Cuidado, en México

FUNDACIÓN MAPFRE fortalece la alianza de cooperación que desde 2012 tiene con el Instituto Nacional de las Personas Adultas Mayores (INAPAM) y la Cruz Roja Mexicana para el desarrollo del proyecto Con Mayor Cuidado, que busca ampliar sus acciones a más de 20 Estados de México. Hasta el momento, se han impartido talleres regionales para formar a cerca de 350 educadores de la campaña en Chihuahua, Tabasco, Distrito Federal y Guanajuato.

Esta iniciativa tiene como objetivo la prevención de los accidentes de las personas

mayores en su vida diaria, tanto en el entorno de su hogar como de los lugares en los que desarrollan su vida diaria. La campaña se dirige igualmente a sus familias y a los profesionales implicados en el cuidado del mayor.

Los talleres son dirigidos por personal del INAPAM y por voluntarios de la Cruz Roja Mexicana, con el apoyo de materiales impresos y audiovisuales diseñados y adaptados por FUNDACIÓN MAPFRE para su aplicación en el país. En el desarrollo del programa en 2014 la meta es llegar a 15.000 mayores en México.



Más información sobre la campaña en: www.cuidadosos.com

Boletín de suscripción



Recuerde actualizar sus datos en la página web:

<http://www.seguridadymedioambiente.com>

Opcionalmente puede cumplimentar el boletín adjunto y remitirlo a:

FUNDACIÓN MAPFRERevista **SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE**

Paseo de Recoletos, 23. 28004 Madrid. Fax: 91 581 60 70.

Datos del suscriptor

Apellido 1: Apellido 2:

Nombre: DNI/NIE/Cédula de identidad:

Teléfono: Fax: e-mail:

 Nueva suscripción
 Actualización de datos
Dirección de envío de la revista

Dirección: Código postal:

Población: Provincia: País:

Si la dirección de envío es de empresa, por favor cumplimente los siguientes datos:

Nombre de la empresa: CIF:

Departamento: Cargo:

Especialidad:

Áreas de interés:
 Prevención de accidentes
 Medio ambiente
 Prevención de incendios

Cómo nos conoció:
 Revista Seguridad y Medio Ambiente
 Otras publicaciones
 Página web
 Conocidos
 Otros
Fecha: **Firma:**

El interesado autoriza el tratamiento de los datos personales suministrados voluntariamente a través del presente documento y la actualización de los mismos para el envío de la revista a la que se suscribe, así como para la comunicación de actividades de FUNDACIÓN MAPFRE, incluso a través de medios electrónicos, tanto durante el periodo en que esté suscrito a la misma como una vez finalizado. Asimismo, acepta que sus datos puedan ser cedidos, para las finalidades antes descritas, a otras entidades públicas y privadas colaboradoras de FUNDACIÓN MAPFRE, respetando en todo caso la legislación española sobre protección de datos de carácter personal y sin necesidad de que le sea comunicada cada primera cesión que se efectúe a los citados cesionarios.

Todos los datos son tratados con absoluta confidencialidad, no siendo accesibles a terceros para finalidades distintas para las que han sido autorizados. El fichero creado está bajo la supervisión y control de FUNDACIÓN MAPFRE, quien asume la adopción de las medidas de seguridad de índole técnica y organizativa para proteger la confidencialidad e integridad de la información, de acuerdo con lo establecido en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y demás legislación aplicable, y ante quien el titular de los datos puede ejercitar sus derechos de acceso, rectificación, oposición y cancelación mediante comunicación escrita dirigida a Paseo de Recoletos 23, 28004 Madrid (España).

Vd. puede marcar esta casilla en caso de oponerse al tratamiento y comunicación de los datos de carácter personal para finalidades indicadas anteriormente distintas de la gestión de la revista solicitada. En caso de que los datos facilitados se refieran a personas físicas distintas del interesado, éste deberá, con carácter previo a su inclusión en el presente documento, informarles de los extremos contenidos en los párrafos anteriores.

1 NORMATIVA Y LEGISLACIÓN

Referencia de legislación publicada - (BOE)

Del 1 de noviembre de 2013 al 31 de marzo de 2014

CORRECCIÓN DE ERRORES de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.
(B.O.E. Nº 268 de 08.11.2013)

CORRECCIÓN DE ERRORES del Real Decreto 742/2013, de 27 de septiembre, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de las piscinas.
(B.O.E. Nº 271 de 12.11.2013)

RESOLUCIÓN de 15 de noviembre de 2013, de la Secretaría de Estado de Administraciones Públicas, por la que se actualiza y dispone la publicación del Sistema de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales en la Administración General del Estado.
(B.O.E. Nº 294 de 09.12.2013)

LEY 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.
(B.O.E. Nº 296 de 11.12.2013)

RESOLUCIÓN de 28 de noviembre de 2013, de la Universidad de Alicante, por la que se publica el plan de estudios de Máster en Prevención de Riesgos Laborales.
(B.O.E. Nº 300 de 16.12.2013)

RESOLUCIÓN de 20 de diciembre de 2013, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 13 de diciembre de 2013, por el que se aprueba el Programa Estatal de Prevención de Residuos 2014-2020.
(B.O.E. Nº 20 de 23.01.2014)

RECURSO DE INCONSTITUCIONALIDAD nº 7473-2013, contra el artículo 39.2 de la Ley 14/2013, de

27 de septiembre, de apoyo a los emprendedores y su internacionalización, por el que se añade una disposición adicional decimoséptima a la Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. 1141.
(B.O.E. Nº 30 de 04.02.2014)

REAL DECRETO 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.
(B.O.E. Nº 50 de 27.02.2014)

ORDEN FOM/456/2014, de 13 de marzo, por la que se modifica el anexo 2 del Real Decreto 1749/1984, de 1 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Nacional sobre el transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea y las Instrucciones técnicas para el transporte sin riesgos de mer-

Real Decreto 97/2014, de 14 de febrero, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español

cancías peligrosas por vía aérea, para actualizar las instrucciones técnicas.
(B.O.E. Nº 71 de 24.03.2014)

RESOLUCIÓN de 4 de marzo de 2014, de la Universidad a Distancia de Madrid, por la que se publica el plan de estudios de Máster en Prevención de Riesgos Laborales.
(B.O.E. Nº 71 de 24.03.2014)

Diario Oficial de la Comunidad - (DOCE)

Del 1 de noviembre de 2013 al 31 de marzo de 2014

DIRECTIVA 2013/51/Euratom del Consejo de 22 de octubre de 2013 por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.
(D.O.U.E. nº L296 de 2013.11.07)

DECISIÓN del Consejo de 2 de diciembre de 2013 por la que se nom-

bra a los miembros titulares y suplentes del consejo de dirección de la Fundación Europea para la Mejora de las Condiciones de Vida y de Trabajo.
(D.O.U.E. Nº C 358/5 de 07.12.2013)

DECISIÓN de ejecución de la Comisión de 6 de diciembre de 2013 por la que se establece el formato para la notificación de la in-

formación sobre la adopción y las revisiones sustanciales de los planes de gestión de residuos y de los programas de prevención de residuos.
(D.O.U.E. Nº L 329/44 de 10.12.2013)

DECISIÓN del Consejo de 2 de diciembre de 2013 por la que se nombra a los miembros titulares y suplentes del consejo de dirección

de la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo.
(D.O.U.E. Nº C 360/8 de 10.12.2013)

POSICIÓN (UE) Nº 13/2013 del Consejo en primera lectura con vistas a la adopción de un Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los tacógrafos en el transporte por carretera, por el que se deroga el Reglamento (CEE)

nº 3821/85 del Consejo, relativo al aparato de control en el sector de los transportes por carretera, y se modifica el Reglamento (CE) nº 561/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la armonización de determinadas disposiciones en materia social en el sector de los transportes por carretera. Adoptada por el Consejo el 15 de noviembre de 2013.

(D.O.U.E. Nº C 360 E/66 de 10.12.2013)

DECISIÓN de ejecución de la Comisión de 9 de diciembre de 2013 por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores tecnologías disponibles (MTD) para la producción de cloro-álcali conforme a la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las emisiones industriales.

(D.O.U.E. Nº L 332/34 de 11.12.2013)

COMUNICACIÓN de la Comisión en el marco de la aplicación de la Directiva 89/686/CEE del Consejo, de 21 de diciembre de 1989, sobre aproximación de las legislaciones de los Estados miembros relativas a los equipos de protección individual.

(D.O.U.E. Nº C 364/1 de 13.12.2013)

REGLAMENTO (UE) Nº 4/2014 de la Comisión de 6 de enero de 2014 que modifica el Reglamento (CE) nº 640/2009, por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos.

(D.O.U.E. Nº L 2/1 de 07.01.2014)

DIRECTIVA Delegada 2014/1/UE de la Comisión, de 18 de octubre

Aproximación de las legislaciones de los Estados miembros relativas a los equipos de protección individual

de 2013, que modifica, para adaptarlo al progreso técnico, el anexo IV de la Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a una exención para el plomo como elemento de aleación en los cojinetes y superficies de contacto de los productos sanitarios expuestos a radiaciones ionizantes.

(D.O.U.E. Nº L 4/45 de 09.01.2014)

DIRECTIVA Delegada 2014/4/UE de la Comisión, de 18 de octubre de 2013, que modifica, para adaptarlo al progreso técnico, el anexo IV de la Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a una exención para el plomo en conexiones estancas a prueba de vacío entre el aluminio y el acero en intensificadores de imagen de rayos X.

(D.O.U.E. Nº L 4/51 de 09.01.2014)

DIRECTIVA Delegada 2014/5/UE de la Comisión, de 18 de octubre de 2013, que modifica, para adaptarlo al progreso técnico, el anexo IV de la Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a una exención para el plomo en soldaduras utilizadas en circuitos impresos, revestimientos de terminaciones de componentes eléctricos y electrónicos y de circuitos impresos, soldaduras para la conexión de hilos y cables y soldaduras para la conexión de transductores y sen-

sos que se emplean durante un período prolongado de tiempo a una temperatura inferior a -20 °C en condiciones normales de funcionamiento y almacenamiento.

(D.O.U.E. Nº L 4/53 de 09.01.2014)

DIRECTIVA Delegada 2014/14/UE de la Comisión, de 18 de octubre de 2013, que modifica, para adaptarlo al progreso técnico, el anexo III de la Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a una exención para la utilización de 3,5 mg de mercurio por lámpara en lámparas fluorescentes compactas de casquillo único para usos generales de alumbrado de menos de 30 W con una vida útil igual o superior a 20.000 horas.

(D.O.U.E. Nº L 4/71 de 09.01.2014)

REGLAMENTO Delegado (UE) nº 3/2014 de la Comisión, de 24 de octubre de 2013, que complementa el Reglamento (UE) nº 168/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a los requisitos de seguridad funcional para la homologación de los vehículos de dos o tres ruedas y los cuatriciclos.

(D.O.U.E. Nº L 7/1 de 10.01.2014)

DIRECTIVA 2013/59/Euratom del Consejo, de 5 de diciembre de 2013, por la que se establecen normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes, y se derogan las Directivas 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom y 2003/122/Euratom.

(D.O.U.E. Nº L 13/1 de 17.01.2014)

COMUNICACIÓN de la Comisión en el marco de la aplicación de la

Directiva 2009/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a los recipientes a presión simples. Normas armonizadas.

(D.O.U.E. nº C 8 2014.01.11)

COMUNICACIÓN de la Comisión en el marco de la aplicación de la Directiva 97/23/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de mayo de 1997 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre equipos a presión.

(D.O.U.E. Nº C 22/1 de 24.01.2014)

COMUNICACIÓN de la Comisión en el marco de la aplicación del Reglamento (CE) nº 244/2009 de la Comisión, de 18 de marzo de 2009, por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para lámparas de uso doméstico no direccionales, modificado por el Reglamento (CE) nº 859/2009 de la Comisión, de 18 de septiembre de 2009, en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico sobre radiación ultravioleta de las lámparas de uso doméstico no direccionales, y del Reglamento Delegado (UE) nº 874/2012 de la Comisión, de 12 de julio de 2012, por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de las lámparas eléctricas y las lu-

Normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes

minarias, y del Reglamento (UE) n° 1194/2012 de la Comisión, de 12 de diciembre de 2012, por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que atañe a los requisitos de diseño ecológico aplicables a las lámparas direccionales, a las lámparas LED y a sus equipos.

(D.O.U.E. N° C 22/17 de 24.01.2014)

REGLAMENTO de ejecución (UE) n° 88/2014 de la Comisión, de 31 de enero de 2014, por el que se especifica un procedimiento para la modificación del anexo I del Reglamento (UE) n° 528/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la comercialización y el uso de los biocidas.

(D.O.U.E. N° L 32/3 de 01.02.2014)

REGLAMENTO de ejecución (UE) n° 94/2014 de la Comisión, de 31 de enero de 2014, por el que se aprueba el yodo, incluida la polivinilpirrolidona yodada, como sustancia activa existente para su uso en biocidas de los tipos de producto 1, 3, 4 y 22.

(D.O.U.E. N° L 32/23 de 01.02.2014)

DECISIÓN del Consejo, de 28 de enero de 2014, por la que se autoriza a los Estados miembros a ratificar, en interés de la Unión Europea, el Convenio sobre trabajo digno para los trabajadores domésticos, de 2011, de la Organización Internacional del Trabajo (Convenio n° 189).

(D.O.U.E. N° L 32/32 de 01.02.2014)

DECISIÓN del Consejo, de 28 de enero de 2014, por la que se autoriza a los Estados miembros a ratificar, en interés de la Unión Europea, el Convenio relativo a la seguridad en

Se modifica el anexo I del Reglamento (CE) n° 689/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos

la utilización de los productos químicos en el trabajo, de 1990, de la Organización Internacional del Trabajo (Convenio n° 170).

(D.O.U.E. N° L 32/33 de 01.02.2014)

DECISIÓN de la Comisión de 5 de febrero de 2014 sobre los requisitos de seguridad que deben cumplir las normas europeas sobre productos láser de consumo con arreglo a la Directiva 2001/95/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la seguridad general de los productos.

(D.O.U.E. N° L 36/20 de 06.02.2014)

REGLAMENTO de ejecución (UE) N° 116/2014 de la Comisión de 6 de febrero de 2014 por el que se establece la no aprobación de la sustancia activa yoduro de potasio de conformidad con el Reglamento (CE) n° 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la comercialización de productos fitosanitarios.

(D.O.U.E. N° L 38/26 de 07.02.2014)

REGLAMENTO Delegado (UE) n° 157/2014 de la Comisión, de 30 de octubre de 2013, relativo a las condiciones para publicar en una página web una declaración de prestaciones sobre productos de construcción.

(D.O.U.E. N° L 52/1 de 21.02.2014)

REGLAMENTO (UE) N° 167/2014 de la Comisión de 21 de febrero de 2014 por el que se modifica el anexo I del Reglamento (CE) n° 689/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos.

(D.O.U.E. N° L 54/10 de 22.02.2014)

DECISIÓN del Comité Mixto del EEE N° 168/2013 de 8 de octubre de 2013 por la que se modifica el anexo II (Reglamentaciones técnicas, normas, ensayos y certificación) del Acuerdo EEE. Por la que se requiere a los Estados miembros para que prohíban la comercialización de dispositivos de corte de tipo «mayal» para desbrozadoras portátiles de mano.

(D.O.U.E. N° L 58/22 de 27.02.2014)

DIRECTIVA de ejecución 2014/37/UE de la Comisión de 27 de febrero de 2014 por la que se modifica la Directiva 91/671/CEE del Consejo, relativa al uso obligatorio de cinturones de seguridad y dispositivos de retención para niños en los vehículos.

(D.O.U.E. N° L 59/32 de 28.02.2014)

DECISIÓN de la Comisión de 3 de marzo de 2014 por la que se crea el Comité Científico para los Límites de Exposición Profesional a Agentes Químicos y por la que se deroga la Decisión 95/320/CE de la Comisión.

(D.O.U.E. N° L 62/18 de 04.03.2014)

Creación del Comité Científico para los Límites de Exposición Profesional a Agentes Químicos

REGLAMENTO (UE) N° 206/2014 de la Comisión de 4 de marzo de 2014 por el que se modifica el Reglamento (UE) n° 601/2012 en lo que atañe a los potenciales de calentamiento global para gases de efecto invernadero distintos al CO₂.

(D.O.U.E. N° L 65/27 de 05.03.2014)

COMUNICACIÓN de la Comisión en el marco de la aplicación de la Directiva 94/9/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de marzo de 1994, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

(D.O.U.E. N° C 76/30 de 14.03.2014)

DECISIÓN del Comité Mixto del EEE N° 202/2013 de 8 de noviembre de 2013 por la que se modifica el anexo XIII (Transportes) del Acuerdo EEE. Sobre las equivalencias entre categorías de permisos de conducción.

(D.O.U.E. N° L 92/28 de 27.03.2014)

DECISIÓN del Comité Mixto del EEE N° 209/2013 de 8 de noviembre de 2013 por la que se modifica el anexo XX (Medio ambiente) del Acuerdo EEE. Relativa a los traslados de residuos.

(D.O.U.E. N° L 92/35 de 27.03.2014)

DIRECTIVA 2014/34/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas (refundición).

(D.O.U.E. N° L 96/309 de 29.03.2014)

Normas EA, UNE, CEI editadas

Del 1 de noviembre de 2013 al 28 de febrero de 2014

Con la colaboración de **AENOR**

SEGURIDAD

- PNE-EN 61472:2014. Trabajos en tensión. Distancias mínimas de aproximación para redes de corriente alterna con tensión comprendida entre 72,5 kV y 800 kV. Método de cálculo.
- PNE-prEN ISO 14122-1:2014. Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas. Parte 1: Selección de medios de acceso fijos entre dos niveles. (ISO/DIS 14122-1:2013).
- PNE-prEN ISO 14122-2:2014. Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas. Parte 2: Plataformas de trabajo y pasarelas. (ISO/DIS 14122-2:2013).
- PNE-prEN ISO 14122-3:2014. Seguridad de las máquinas. Medios de acceso permanente a máquinas. Parte 3: Escaleras, escaleras de mano y barandillas (ISO/DIS 14122-3:2013).
- PNE-prEN 50321:2014. Trabajos en tensión. Calzado de protección eléctrica. Calzado aislante y cubrebotas.
- UNE-EN 61472:2014. Trabajos en tensión. Distancias mínimas de aproximación para redes de corriente alterna con tensión comprendida entre 72,5 kV y 800 kV. Método de cálculo.
- UNE-EN ISO 13274:2014. Envases y embalajes. Envases y embalajes para el transporte de mercancías peligrosas. Ensayo de compatibilidad química para envases, embalajes y GRG de plástico. (ISO 13274:2013).

HIGIENE INDUSTRIAL

- PNE-EN ISO 28927-5:2009/prA1:2014. Herramientas a motor portátiles. Métodos de ensayo para la evaluación de las emisiones de vibraciones. Parte 5: Taladradoras y taladradoras de impacto (ISO 28927-5:2009/DAM 1:2013).
- PNE-EN ISO 28927-8:2009/prA1:2014. Herramientas a motor portátiles. Métodos de ensayo para la evaluación de las emisiones de vibraciones. Parte 8: Sierras, pulidoras y limadoras de vaivén y pequeñas sierras oscilantes o circulares. Modificación 1: Pulidoras, fuerzas de avance modificadas (ISO 28927-8:2009/DAM 1:2013).
- UNE-CEN/TR 15350:2013 IN. Vibraciones mecánicas. Directrices para la evaluación de la exposición a las vibraciones transmitidas por la mano usando la información disponible incluyendo la información proporcionada por los fabricantes de maquinaria.
- UNE-EN ISO 15012-1:2013. Seguridad e higiene en el soldeo y procesos afines. Equipo para la captura y filtración de humo de soldeo. Parte 1: Requisitos para el ensayo y marcado de la eficacia de filtración. (ISO 15012-1:2013).

MEDIO AMBIENTE

- PNE-EN ISO 27108:2014. Calidad del agua. Determinación de ciertos agentes para el tratamiento de las plantas y pro-

ductos biocidas seleccionados. Método por cromatografía en fase gaseosa-espectrometría de masas (GC-EM) tras microextracción en fase sólida (MEFS). (ISO 27108:2010).

- PNE-prEN 16691:2014. Calidad del agua. Determinación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en muestras de agua total para la extracción de líquido sólido combinada con cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM).
- PNE-prEN 16693:2014. Calidad del agua. Determinación de pesticidas organoclorados (POC) en muestras de agua total mediante extracción en fase sólida (EFS) con discos EFS combinada con cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM).
- PNE-prEN 16694:2014. Calidad del agua. Determinación de pentabromodifenil éter (PBDE) en muestras de agua total mediante extracción en fase sólida (EFS) con discos EFS combinada con cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM).
- PNE-prEN 16695:2014. Calidad del agua. Guía para la estimación del biovolumen de las microalgas.
- PNE-prEN 16698:2014. Calidad del agua. Orientaciones para el muestreo cuantitativo y cualitativo de fitoplancton de aguas interiores.
- UNE 77101:2014. Evaluación de la eficacia potencial de dispersantes de hidrocarburos en el

medio marino. Ensayo de eficacia en dispersantes.

- UNE 77102:2014. Evaluación de la eficacia de productos absorbentes de hidrocarburos en el medio marino. Ensayo de eficacia en absorbentes.

INCENDIOS

- PNE-FprEN 54-3:2014. Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 3: Dispositivos de alarma de incendios. Dispositivos acústicos.
- PNE-prEN 3-8:2014. Extintores portátiles de incendios. Parte 8: Requisitos para la construcción, resistencia a la presión y los ensayos mecánicos para extintores con una presión máxima admisible igual o inferior a 30 bar conforme a los requisitos de la Norma Europea EN 3-7.
- PNE-prEN 13911:2014. Ropas de protección para bomberos. Requisitos y métodos de ensayo para capuchas contra incendio para bomberos.
- PNE-prEN 16689:2014. Ropas de protección para bomberos durante operaciones de rescate técnico.
- PNE-prEN ISO 9151:2014. Ropa de protección contra el calor y las llamas. Determinación de la transmisión de calor en exposición a una llama. (ISO/DIS 9151:2013).
- UNE 23007-14:2014. Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 14: Planificación, diseño, instalación, puesta en servicio, uso y mantenimiento.

2 AGENDA

Prevención de riesgos profesionales y medio ambiente

CONGRESO/SIMPOSIO	FECHAS	LUGAR	INFORMACIÓN
Seguridad			
PREVISEL 2014 Ourense: Salón de la Prevención y la Seguridad Laboral	Del 9 al 10 de abril de 2014	Ourense (España)	web: www.previsel.com
Fire Sprinkler International	Del 20 al 21 de mayo de 2014	Londres (Reino Unido)	web: eurosprinkler.org
Congreso Internacional de Prevención de Riesgos Laborales ORP	Del 21 al 23 de mayo de 2014	Santiago de Chile (Chile)	web: www.orpconference.org
Seguritec Perú	Del 22 al 24 de mayo de 2014	Lima (Perú)	web: thaiscorp.com/seguritec/site
XXVI Congreso nacional SEMES. Urgencias a orillas del Mediterráneo. Especialidad y Autonomía de Gestión	Del 11 al 13 de junio de 2014	Málaga (España)	web: www.semes.org
Seguriexpo Ecuador	Del 31 de julio al 2 de agosto de 2014	Guayaquil (Ecuador)	web: www.seguriexpoecuador.com
20º Congreso Mundial de Seguridad y Salud en el Trabajo	Del 24 al 28 de agosto de 2014	Fráncfort (Alemania)	web: www.safety2014germany.com
Security Essen – Seguridad contra incendios	Del 23 al 26 de septiembre de 2014	Essen (Alemania)	web: www.security-messe.de
SICUR Latinoamérica	Del 15 al 17 de octubre de 2014	Santiago de Chile (Chile)	web: www.sicurlatinoamerica.cl
XIV Conferencia Internacional sobre Agua Nebulizada	Del 22 al 23 de octubre de 2014	Estambul (Turquía)	web: www.iwma.net
Sicurezza	Del 12 al 14 de noviembre de 2014	Milán (Italia)	web: www.sicurezza.it
Medio Ambiente			
Bioptima - Feria de Biomasa y Servicios Energéticos	Del 2 al 4 de abril de 2014	Jaén (España)	web: www.bioptima.es
Foro Mundial Urbano Medellín	Del 5 al 11 de abril de 2014	Medellín (Colombia)	web: worldurbanforum7.org
Energy 2014 Hannover: Feria Internacional de Generación Eléctrica	Del 7 al 11 de abril de 2014	Hannover (Alemania)	web: www.hannovermesse.de/energy_e
ICREPQ 2014 Córdoba: Conferencia Internacional sobre Energías Renovables y Calidad de Potencia	Del 8 al 10 de abril de 2014	Córdoba (España)	web: www.icrepq.com
FIEMA Brasil 2014, Feria Internacional de Tecnología para el Medio Ambiente	Del 22 al 25 de abril de 2014	Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul (Brasil)	web: www.fiema.com.br
Paraguay Energy	Del 23 al 25 de abril de 2014	Asunción (Paraguay)	web: paraguayenergy.org
Expo Agua y Medio Ambiente	1 de mayo de 2014	Buenos Aires (Argentina)	web: www.expoagua.com.ar
Genera Madrid	Del 6 al 8 de mayo de 2014	Madrid (España)	web: www.ifema.es/ferias/genera/default.html
Solar Expo	Del 6 al 8 de mayo de 2014	Milán (Italia)	web: www.solarexpo.com/
FITMA Buenos Aires	Del 21 al 23 de mayo de 2014	Buenos Aires (Argentina)	web: www.fitma.com.ar
Renewable Energy World Europe Conference	Del 3 al 5 de junio de 2014	Viena (Austria)	web: www.renewableenergyworld-europe.com



CAMPAÑA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

CON MAYOR CUIDADO tiene como objetivo la prevención de accidentes en el colectivo de los mayores con el fin de mantener su independencia y autonomía personal, promoviendo hábitos preventivos en su vida cotidiana que ayuden a evitar accidentes y le permitan conocer cómo actuar ante determinadas situaciones tras sufrir un accidente.

Si desea consultar la documentación de la campaña o precisa más información:
www.conmayorcuidado.com
+34 91 602 52 21



FUNDACIÓN MAPFRE

www.fundacionmapfre.org

CURSOS E-LEARNING DE ESPECIALIZACIÓN

FUNDACIÓN MAPFRE presenta su catálogo de cursos en modalidad e-learning en el área de prevención. Tras la superación del curso, se obtendrá diploma acreditativo expedido por la Universidad Pontificia de Salamanca (6 ECTS):

- Evaluación y prevención de riesgos psicosociales.
- Formación de formadores en seguridad.
- Riesgo biológico: criterios de actuación.
- Sistemas de gestión de la PRL: OHSAS.

Más información y becas:
+34 91 602 52 21



UNIVERSIDAD PONTIFICIA
DE SALAMANCA

FUNDACIÓN MAPFRE

www.fundacionmapfre.org

