

## II

(Comunicaciones)

## COMUNICACIONES PROCEDENTES DE LAS INSTITUCIONES, ÓRGANOS Y ORGANISMOS DE LA UNIÓN EUROPEA

## COMISIÓN EUROPEA

## COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN

**Comunicación de la Comisión <sup>(1)</sup> sobre el seguimiento de los ecosistemas en el marco del artículo 9 y del anexo V de la Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos (Directiva sobre techos nacionales de emisión)**

(2019/C 92/01)

## 1. Introducción y base jurídica

El objetivo del presente documento de orientación es abordar los principales problemas que pueden tener los Estados miembros en relación con los aspectos prácticos del establecimiento y gestión de una red de lugares de seguimiento que cumpla los requisitos del artículo 9 de la Directiva (UE) 2016/2284 (Directiva sobre techos nacionales de emisión) <sup>(2)</sup>. Por su carácter orientativo, el presente documento no es jurídicamente vinculante, y los Estados miembros tienen flexibilidad para establecer sus redes de la manera que sea más adecuada y práctica para sus circunstancias nacionales, en la medida en que garanticen el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica, tal como exige el artículo 9. Cuando notifiquen sus redes, se anima a los Estados miembros a que presenten un documento en el que se explique cómo las han desarrollado para cumplir los requisitos de la Directiva sobre techos nacionales de emisión.

Tanto la Directiva 2001/81/CE <sup>(3)</sup> (en lo sucesivo, «antigua Directiva sobre techos nacionales de emisión») como la Directiva (UE) 2016/2284 (en lo sucesivo, «Directiva sobre techos nacionales de emisión») tienen el objetivo de mejorar no solo la salud humana, sino también el estado de los ecosistemas en toda la UE. El Programa «Aire Puro para Europa» <sup>(4)</sup> incluye, además de un objetivo de reducción de los impactos sobre la salud en toda la Unión, el de reducir en un 35 % la superficie de los ecosistemas afectada por la eutrofización en 2030 en comparación con 2005.

El alcance del impacto de la contaminación atmosférica sobre los ecosistemas se determina en la UE en función de la superación de las cargas y niveles críticos de azufre, nitrógeno y ozono provocada sobre todo por el desplazamiento de los contaminantes a grandes distancias. El cálculo de los umbrales de esos efectos se ha basado en la labor del *Grupo de trabajo sobre los efectos* en el marco del Protocolo de Gotemburgo del Convenio sobre la contaminación atmosférica transfronteriza a gran distancia <sup>(5)</sup> (Convenio LRTAP), incluido el trabajo del Centro de Coordinación sobre los Efectos

<sup>(1)</sup> Exención de responsabilidad: La finalidad del presente documento de orientación es ayudar a las autoridades nacionales en la aplicación de la Directiva (UE) 2016/2284. Refleja las opiniones de la Comisión Europea y, como tal, no es jurídicamente vinculante. La interpretación vinculante de la legislación de la UE es competencia exclusiva del Tribunal de Justicia de la Unión Europea (TJUE). Las opiniones expresadas en el presente documento de orientación se entienden sin perjuicio de la posición que pueda adoptar la Comisión ante el TJUE.

<sup>(2)</sup> Directiva (UE) 2016/2284 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 14 de diciembre de 2016, relativa a la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos, por la que se modifica la Directiva 2003/35/CE y se deroga la Directiva 2001/81/CE (DO L 344 de 17.12.2016, p. 1).

<sup>(3)</sup> Directiva 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos (DO L 309 de 27.11.2001, p. 22).

<sup>(4)</sup> Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Programa «Aire Puro» para Europa [COM(2013) 918 final].

<sup>(5)</sup> <https://www.unece.org/env/lrtap/welcome.html>.

(CCE) y los programas de cooperación internacional (ICP) sobre aguas, bosques, vegetación y seguimiento integrado <sup>(6)</sup>, así como de las redes de seguimiento establecidas a tal fin en el ámbito de las Partes participantes en el Protocolo de Gotemburgo.

Habida cuenta de la importancia fundamental de esa labor para los objetivos en materia de ecosistemas de la política de calidad del aire de la UE, y para evaluar la efectividad de los compromisos nacionales de reducción de emisiones, los legisladores han incluido en la Directiva sobre techos nacionales disposiciones que exigen el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica en los ecosistemas. El seguimiento obligatorio tiene por objeto, además, reforzar la labor que se está llevando a cabo en el marco del Convenio LRTAP.

Las principales obligaciones de los Estados miembros en virtud de la Directiva sobre techos nacionales de emisión son las siguientes:

- Garantizar el seguimiento de los efectos negativos de la contaminación atmosférica en los ecosistemas, basándose en una red de lugares de seguimiento que sea representativa de sus hábitats de agua dulce, naturales y seminaturales no forestales y tipos de ecosistemas forestales, adoptando un planteamiento eficiente en términos de costes y basado en los riesgos (artículo 9, apartado 1, párrafo primero).
- Comunicar a la Comisión y a la Agencia Europea de Medio Ambiente, a más tardar el 1 de julio de 2018 y a continuación cada cuatro años, la ubicación de los lugares de seguimiento y los indicadores asociados utilizados para el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica [artículo 10, apartado 4, letra a)].
- Comunicar a la Comisión y a la Agencia Europea de Medio Ambiente, a más tardar el 1 de julio de 2019 y a continuación cada cuatro años, los datos de seguimiento indicados en el artículo 9 [artículo 10, apartado 4, letra b)].

La Comisión debe:

- Presentar, a más tardar el 1 de abril de 2020 y cada cuatro años posteriormente, un informe al Parlamento Europeo y al Consejo sobre los avances realizados en la consecución de los objetivos en materia de biodiversidad y de ecosistemas de la Unión en consonancia con el 7.º Programa de Acción en materia de medio ambiente (7.º PAM) <sup>(7)</sup> [artículo 11, apartado 1, letra a), inciso iii)] (véase la sección 2 para más detalles).

El establecimiento de una red plenamente operativa de seguimiento del impacto de la contaminación atmosférica es un proceso de mejora continua. Las presentes orientaciones se centran en las cuestiones clave para los primeros ciclos de notificación (2018 y 2019). Sobre la base de la información comunicada por los Estados miembros con arreglo al artículo 10, la Comisión, en el informe que publicará en 2020 con arreglo al artículo 11 de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, evaluará en qué medida las redes de seguimiento establecidas hasta el momento tendrían que reforzarse para cumplir los requisitos del artículo 9. A partir de esa evaluación y de otras cuestiones o lecciones aprendidas que hayan surgido en el curso del proceso de aplicación, determinará si es preciso mejorar el seguimiento. En tal caso, esas mejoras deberían aplicarse, en la medida de lo posible, en relación con el segundo ciclo de notificación (2022 y 2023).

El presente documento de orientación se estructura como sigue:

- Sección 2: Objetivos del seguimiento de los ecosistemas en el marco de la Directiva sobre techos nacionales de emisión
- Sección 3: Alcance y diseño de la red de seguimiento de los ecosistemas
- Sección 4: Relación con otras actividades de seguimiento
- Sección 5: Notificación
- Sección 6: Apoyo a la aplicación
- Sección 7: Estudios de casos

## 2. Objetivos del seguimiento de los ecosistemas en el marco de la Directiva sobre techos nacionales de emisión

El objetivo del sistema de seguimiento de los ecosistemas es proporcionar la base de conocimientos necesaria para evaluar la efectividad de la Directiva sobre techos nacionales de emisión en la protección del medio ambiente. Por lo que

<sup>(6)</sup> Nombres completos: Programa de cooperación internacional para la evaluación y el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica en ríos y lagos (ICP Waters); Programa de cooperación internacional para la evaluación y el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica en los bosques (ICP Forests); Programa de cooperación internacional sobre los efectos de la contaminación atmosférica en los cultivos y la vegetación natural (ICP Vegetation); Programa de cooperación internacional para el seguimiento integrado de los efectos de la contaminación atmosférica en los ecosistemas (ICP Integrated Monitoring).

<sup>(7)</sup> Decisión n.º 1386/2013/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre de 2013, relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2020 «Vivir bien, respetando los límites de nuestro planeta» (DO L 354 de 28.12.2013, p. 171).

se refiere a la protección del medio ambiente, la Directiva (artículos 1 y 11) se refiere a los objetivos de la Unión en materia de biodiversidad y de ecosistemas en consonancia con el 7.º PAM, que, en relación con la contaminación atmosférica, son los siguientes: Seguir «reduciendo la contaminación atmosférica y sus impactos sobre los ecosistemas y la biodiversidad con el objetivo a largo plazo de no exceder las cargas y niveles críticos»<sup>(8)</sup>.

Lo que se pretende, por tanto, es reforzar la red de seguimiento de los ecosistemas necesaria para determinar el estado de los ecosistemas terrestres y de agua dulce y predecir los cambios en ellos, desde una perspectiva a largo plazo con respecto a los impactos de los óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el amoníaco (NH<sub>3</sub>) y el ozono troposférico (es decir, la acidificación, la eutrofización, el daño por ozono o los cambios en la biodiversidad). Así, el objetivo final del seguimiento es mejorar la información sobre los efectos de la contaminación atmosférica en los ecosistemas terrestres y de agua dulce, con inclusión de la magnitud de cualquier impacto y del tiempo de recuperación cuando esos efectos se han reducido, así como contribuir a una revisión de las cargas y niveles críticos.

Para trabajar en pro de esos objetivos, los Estados miembros deben coordinarse con otros programas de seguimiento en su territorio y en toda la Unión Europea, así como en el marco del Convenio LRTAP, si procede. El seguimiento de los ecosistemas que se está efectuando en la actualidad con arreglo a las Directivas de aves<sup>(9)</sup> y de hábitats<sup>(10)</sup> y a la Directiva marco sobre el agua<sup>(11)</sup> lleva aparejada una red de amplio alcance para la notificación del estado global de los ecosistemas, pero en el marco de esas Directivas no se siguen los efectos de la contaminación atmosférica. Por consiguiente, los datos sobre el estado de los ecosistemas recogidos con arreglo a esas evaluaciones generales solo tendrán una pertinencia parcial para los objetivos del artículo 9 (esta cuestión se aborda con más detalle en la sección 4 «Relación con otras actividades de seguimiento»). El seguimiento en el marco de la Directiva sobre techos nacionales de emisión se asemeja al *seguimiento de los efectos* del Convenio LRTAP porque consiste específicamente en investigar el impacto de la contaminación atmosférica como una presión sobre los ecosistemas, con vistas a comprender mejor los mecanismos implicados, la magnitud de los impactos y las perspectivas de recuperación. El seguimiento de los ecosistemas en el marco del Convenio LRTAP es, pues, directamente pertinente para los objetivos de la Directiva sobre techos nacionales de emisión.

### 3. Alcance y diseño de la red de seguimiento de los ecosistemas

#### 3.1. Efectos objeto de seguimiento

Los **efectos** de la contaminación atmosférica objeto de seguimiento en relación con los ecosistemas son, en primer lugar, los causados por sustancias respecto a las cuales se han establecido compromisos de reducción en el anexo II de la Directiva (a saber, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, COVNM, NH<sub>3</sub> y PM<sub>2,5</sub>), y son los siguientes: acidificación, eutrofización y daño del ozono al crecimiento de la vegetación y a la biodiversidad. Aunque el impacto de otros contaminantes (metales pesados, por ejemplo) también es motivo de preocupación, conviene aplicar un enfoque gradual, y se propone que la primera fase del seguimiento se centre en esos tres impactos.

#### 3.2. Tipos de ecosistemas

El artículo 9, apartado 1, de la Directiva sobre techos nacionales de emisión obliga a los Estados miembros a realizar el seguimiento sobre la base de lo siguiente: «una red de lugares de seguimiento que sea representativa de sus hábitats de agua dulce, naturales y semi-naturales y tipos de ecosistemas forestales, adoptando un planteamiento eficiente en términos de costes y basado en los riesgos».

Hay muchos tipos de ecosistemas distribuidos por toda Europa<sup>(12)</sup>, con una gran variación en el número de tipos de ecosistemas por Estado miembro. Aunque la cobertura de la red debe ser representativa de los ecosistemas existentes en sus territorios, los Estados miembros deben adoptar un planteamiento eficiente en términos de costes y basado en los riesgos, según lo dispuesto en el artículo 9, apartado 1, de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, a la hora de elegir el número y la ubicación de los lugares de seguimiento y el tipo de indicadores objeto del mismo.

Un punto de partida para identificar un número representativo de los ecosistemas y hábitats que van a someterse a seguimiento es el número de regiones biogeográficas que ocupa cada Estado miembro. La última clasificación de la UE consta de once regiones biogeográficas (alpina, anatolia, ártica, atlántica, Mar Negro, boreal, continental, macaronésica, mediterránea, panónica y estépica), ilustradas en el *gráfico 1*.

Lo ideal sería que se estableciera como mínimo un lugar de seguimiento por cada tipo de ecosistema en una región biogeográfica.

<sup>(8)</sup> 7.º PAM, punto 28, letra d).

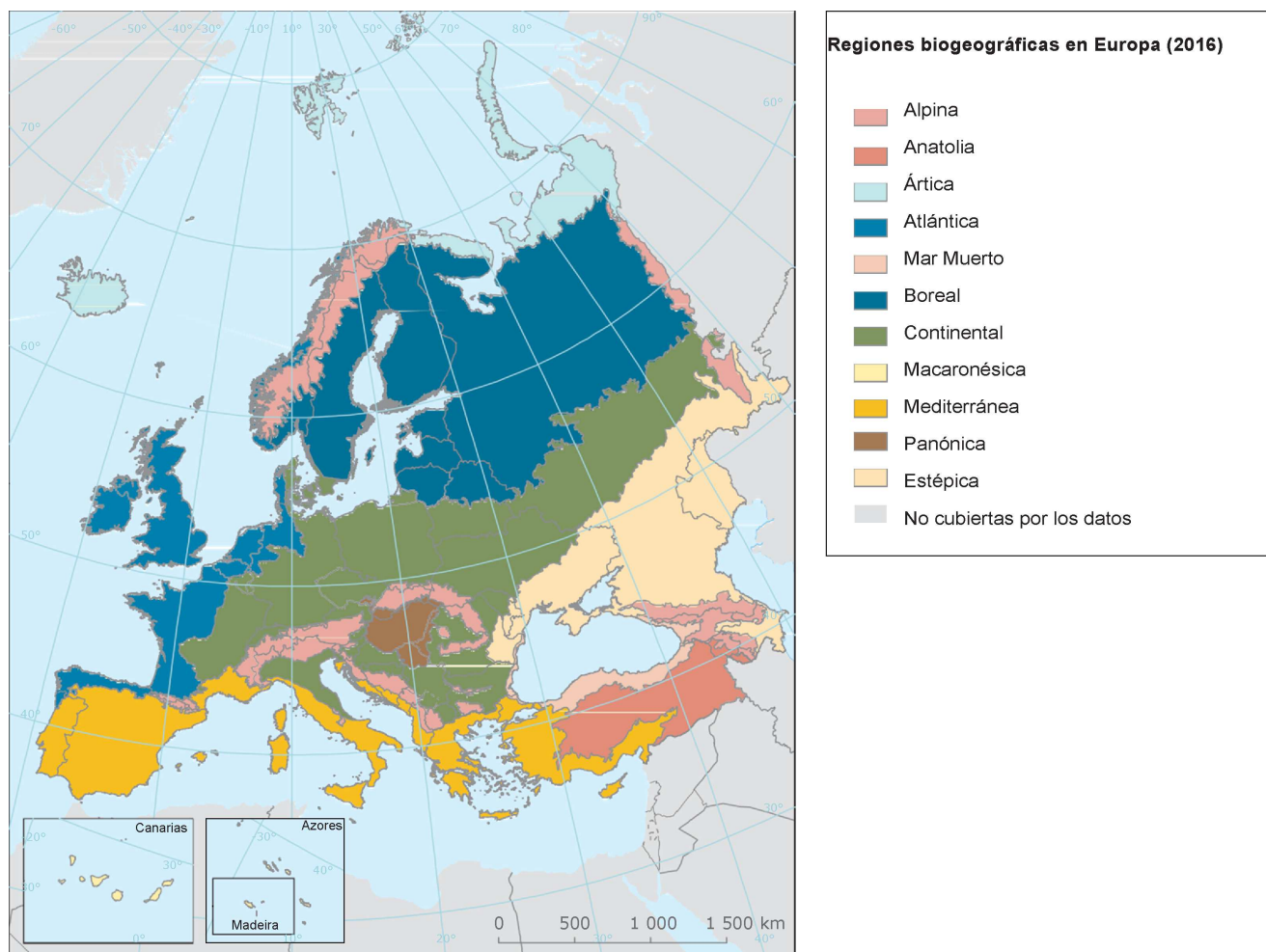
<sup>(9)</sup> Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres (DO L 20 de 26.1.2010, p. 7).

<sup>(10)</sup> Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres (DO L 206 de 22.7.1992, p. 7).

<sup>(11)</sup> Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (DO L 327 de 22.12.2000, p. 1).

<sup>(12)</sup> Véase, por ejemplo, el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE (Directiva de hábitats).

Gráfico 1

Regiones biogeográficas de Europa <sup>(1)</sup>

(1) <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/biogeographical-regions-europe-3>.

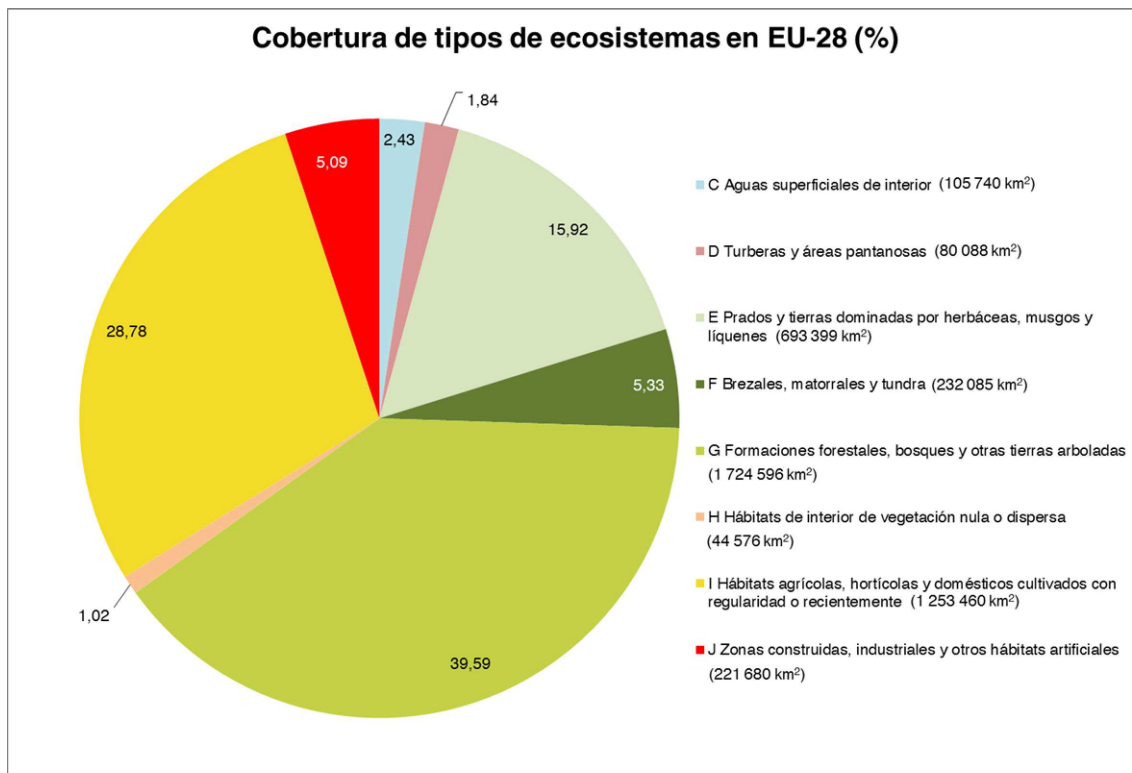
Dentro de cada región biogeográfica, los principales ecosistemas y hábitats de interés pueden clasificarse de acuerdo con las clasificaciones MAES <sup>(13)</sup> y EUNIS <sup>(14)</sup>. La proporción de superficie cubierta por cada tipo de ecosistema MAES varía sustancialmente (gráfico 2) en el interior de un país y en la UE en su conjunto, y también hay variaciones importantes entre países.

<sup>(13)</sup> Cartografía y evaluación de los ecosistemas y sus servicios-MAES: MAES: [http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem\\_assessment/pdf/MAESWorkingPaper2013.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/MAESWorkingPaper2013.pdf).

<sup>(14)</sup> Sistema de Información sobre la Naturaleza en la UE- EUNIS: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/eunis-habitat-classification>.

Gráfico 2

Superficie y porcentaje de tipos de ecosistemas MAES terrestres y de agua dulce en EU-28 (MAES, 2016) <sup>(1)</sup>



<sup>(1)</sup> Informe técnico MAES 2016-095 Mapping and assessing the condition of Europe's ecosystems: Progress and challenges. 3.º Informe - Final, marzo de 2016.

Algunos tipos de ecosistemas de la clasificación MAES son claramente no pertinentes para los fines de la Directiva sobre techos nacionales de emisión (principalmente los ecosistemas urbanos y la mayor parte de las tierras de vegetación nula o dispersa). Por lo que se refiere a las tierras de cultivo, la carga de nutrientes generada por la contaminación atmosférica es menos pertinente que la provocada por la fertilización y otras medidas, aunque el hecho de que los cultivos sean sensibles al ozono justifica su seguimiento.

Sobre esta base, para la Directiva sobre techos nacionales de emisión son pertinentes seis grandes categorías de ecosistemas: prados, tierras de cultivo, bosques y formaciones forestales, brezales y arbustos, humedales, ríos y lagos, como se muestra en el cuadro 1. Esas categorías MAES pueden vincularse fácilmente con las clases de hábitats EUNIS (niveles 1 y 2) y las clases de Corine Land Cover <sup>(15)</sup> (nivel 3) al nivel respectivo de información disponible del nivel general 1 al nivel más detallado 3 o superior. Pueden integrarse al sistema de seguimiento ecosistemas y hábitats específicos de interés especial o de gran importancia y valor, vinculándolos a esas categorías.

<sup>(15)</sup> Clases de Corine Land Cover.

Cuadro 1

**Visión general de los ecosistemas y los hábitats y vínculo entre tipos de ecosistemas MAES, clases de hábitats EUNIS y clases de Corine Land Cover**

Tipos de ecosistemas MAES	Clases de hábitats EUNIS Nivel 1	Clases de hábitats EUNIS Nivel 2	Clases de Corine Land Cover (CLC) Nivel 3
Tierras de cultivo	<b>I Hábitats agrícolas, hortícolas y domésticos cultivados con regularidad o recientemente</b>	I1 Tierras agrícolas y hortícolas I2 Áreas cultivadas de parques y jardines	2.1.1. Tierra de cultivo de secano 2.1.2. Tierras permanentemente irrigadas 2.1.3. Campos de arroz 2.2.1. Viñedos 2.2.2. Plantaciones de árboles y arbustos frutales 2.2.3. Olivares 2.4.1. Cultivos anuales asociados a cultivos permanentes 2.4.2. Modelos complejos de cultivo 2.4.3. Tierra ocupada principalmente por la agricultura, con zonas importantes de vegetación natural 2.4.4. Zonas agroforestales
Prados	<b>E Prados</b> y tierras dominadas por herbáceas, musgos y líquenes	E1 Prados secos E2 Prados mésicos E3 Prados húmedos y estacionalmente húmedos E4 Prados alpinos y subalpinos E5 Herbáceas altas y orlas de bosque y claros E6 Estepas salinas continentales E7 Prados escasamente arbolados	2.3.1. Pastos 3.2.1. Prados naturales
Bosques y formaciones forestales	<b>G Formaciones forestales, bosques</b> y otras tierras arboladas	G1 Plantación de frondosas caducifolias G2 Plantación de frondosas perennifolias G3 Plantación de coníferas G4 Plantación forestal mixta G5 Plantaciones jóvenes o recién talaadas o plantadas	3.1.1. Bosque de frondosas 3.1.2. Bosque de coníferas 3.1.3. Bosque mixto 3.2.4. Arbustos en bosques en transición
Brezales y arbustos	<b>F Brezales,</b> matorrales y tundra	F1 Tundra F2 Matorrales árticos, alpinos y subalpinos F3 Matorrales templados y mediterráneo-montanos F4 Brezales templados F5 Maqui, matorrales arborescentes y matorrales termomediterráneos	3.2.2. Turberas y brezales 3.2.3. Vegetación esclerófila

Tipos de ecosistemas MAES	Clases de hábitats EUNIS Nivel 1	Clases de hábitats EUNIS Nivel 2	Clases de Corine Land Cover (CLC) Nivel 3
		F6 Garriga F7 Brezales espinosos mediterráneos F8 Matorrales xerofíticos termoatlánticos F9 Matorrales de ribera FA Setos FB Plantaciones de arbustos	
Humedales	<b>D Turberas</b> altas, turberas bajas ( <i>fens</i> y <i>mires</i> ) y áreas pantanosas	D1 Turberas altas y turberas de cobertura D2 Turberas de valle, <i>fens</i> pobres y <i>mires</i> de transición D3 <i>Aapa mires</i> , <i>palsa mires</i> y <i>mires</i> de polígono D4 <i>Fens</i> básicos y surgencias de <i>mires</i> calcáreos D5 Juncuales y cañaverales normalmente sin agua libre estancada D6 Marismas y cañaverales continentales salinos y salobres	4.1.1. Marismas continentales 4.1.2. Turberas
Ríos y lagos	<b>C Masas de aguas</b> superficiales de interior	C1 Aguas estancadas superficiales C2 Láminas de aguas corrientes superficiales C3 Zona litoral de las masas de agua superficiales de interior	5.1.1. Cursos de agua 5.1.2. Masas de agua

Fuente: [http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem\\_assessment/pdf/MAESWorkingPaper2013.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/MAESWorkingPaper2013.pdf)

### 3.3. Selección, número y densidad de los lugares

Dada la variedad de condiciones en lo que respecta a la carga de contaminación atmosférica y las características biológicas, químicas y físicas de cada tipo de ecosistema a través de la UE, la presente sección se centra en ofrecer una serie de criterios cualitativos para la selección de lugares que sean pertinentes para cada tipo de ecosistema. Esos criterios deben ser la base para seleccionar los lugares y determinar su número y densidad con objeto de obtener una red de seguimiento suficiente y coherente específica para la situación de cada Estado miembro. Debe tenerse en cuenta que la selección de lugares es un proceso multicriterio que puede variar de un Estado miembro a otro.

En la medida de lo posible, los lugares elegidos deben cumplir los principios siguientes:

- el lugar debe ser característico del tipo de ecosistema que va a ser objeto de seguimiento,
- el lugar debe ser tal que los impactos de la deposición atmosférica puedan distinguirse de otras presiones,
- el lugar debe ser sensible a la presión de que se trate, de tal manera que, si se produce algún impacto, este debe ser rápidamente observable.

Los mapas de las zonas sensibles a impactos particulares pueden resultar de utilidad a la hora de seleccionar los lugares de seguimiento.

La biodiversidad debe ser otro criterio de selección de los lugares de seguimiento para abordar las relaciones causa-efecto de la contaminación sobre ella. Aunque no todos los lugares han de tener necesariamente un alto valor en cuanto a biodiversidad, la red en su conjunto debería garantizar una representación adecuada de lugares que estén mínimamente alterados por la gestión y que alberguen preferiblemente gran variedad de especies, que pueden encontrarse, por ejemplo, en espacios de la red Natura 2000, en zonas designadas a nivel nacional (CDDA) u otros lugares protegidos.

En general, el número requerido de lugares y su densidad dependen de la sensibilidad de los ecosistemas, los tipos de ecosistemas afectados, el número de tipos de ecosistemas distintos presentes en las diferentes regiones biogeográficas (véase el punto 3.2) y la intensidad de las presiones de la contaminación del aire. La red nacional debe ser tal que sea posible realizar análisis de gradientes espaciales y comprender las relaciones causa-efecto, y debe proporcionar datos para la cartografía y modelización de las cargas y niveles críticos y los rebasamientos. Es más importante contar con lugares en varias regiones que con varios lugares en cada región. Las zonas más vírgenes necesitan menos lugares si no se esperan grandes cambios en ellas, pero no deben omitirse.

Por lo que se refiere a las condiciones ambientales naturales, la red debe cubrir los gradientes más importantes que se encuentran en los Estados miembros. Los gradientes de los principales parámetros climatológicos (precipitaciones, temperatura) e hidrológicos y de la alcalinidad del suelo (por ejemplo, el pH) deben variar sistemáticamente. Esa información es en parte inherente a las respectivas regiones biogeográficas (véase la sección 3.2) y puede especificarse más con mapas que presenten una clasificación más detallada de los estratos ambientales (por ejemplo, Metzger *et al.* 2005 <sup>(16)</sup>).

En relación con los parámetros de contaminación atmosférica, cada Estado miembro debe cubrir al menos las zonas con elevados niveles de deposición de sustancias acidificantes y eutrofizantes (a nivel nacional) y de concentración de ozono. Para poder realizar comparaciones a largo plazo, también deben seleccionarse lugares de referencia con valores bajos de deposición o concentración. Se recomienda utilizar para la selección de lugares los mapas existentes de superaciones de las cargas o niveles críticos.

Por lo que se refiere a los tipos de ecosistemas, cada Estado miembro debe seleccionar los lugares en función de su representatividad dentro de su territorio (véase el cuadro 1). Además, puede utilizarse el anexo I de la Directiva de hábitats (Directiva 92/43/CEE) para seleccionar los hábitats en función de su pertinencia.

Habida cuenta de la distribución de los ecosistemas sensibles y los recursos necesarios para realizar las mediciones requeridas a fin de evaluar los impactos de la contaminación atmosférica, puede resultar apropiado aplicar un enfoque escalonado, con un seguimiento de amplio alcance de un conjunto de parámetros relativamente simple (nivel I), reforzado por un seguimiento más específico y profundo de una serie más pequeña de parámetros más complejos (nivel II). En relación con algunos ecosistemas, puede resultar adecuado utilizar una densidad mínima de lugares de seguimiento de nivel I (por ejemplo, el seguimiento de nivel I en el marco del ICP Forests utiliza una red basada en una cuadrícula de 16 x 16 km). Cuando procede, esa distinción de niveles se establece en las recomendaciones que figuran a continuación sobre los parámetros y la frecuencia de seguimiento.

#### 3.4. Parámetros y frecuencia de seguimiento

La presente sección del documento se centra en los parámetros que sería adecuado seguir; reflejan los descritos en el anexo V de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, que establece indicadores optativos para el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica. En ella se formulan recomendaciones para el seguimiento de la acidificación y la eutrofización basadas en la experiencia y en actividades anteriores de los ICP sobre bosques y formaciones forestales, y ecosistemas de agua dulce, así como sobre el seguimiento del daño por ozono en relación con todos los ecosistemas terrestres. En esta sección también se hace referencia a los lugares de seguimiento integrado de los ICP, que ofrecen información sobre impactos específicos en los ecosistemas y distingue los efectos de la contaminación atmosférica de otros impactos, especialmente en el caso de los ecosistemas de agua dulce. Se basa principalmente en los manuales correspondientes de los ICP y del Convenio LRTAP y reconoce los métodos científicamente aprobados que se aplican y la larga experiencia en el seguimiento de los efectos de la contaminación, lo cual ha sido revisado también por el grupo de expertos de la Directiva sobre techos nacionales de emisión. No obstante, la notificación debe abarcar también los ecosistemas que no han sido objeto de seguimiento en el marco de los ICP hasta la fecha, principalmente prados, brezales y otros ecosistemas naturales o seminaturales de gran importancia. La lista global de parámetros propuestos para considerarse a efectos del seguimiento de conformidad con el artículo 9 de la Directiva sobre techos nacionales de emisión figura en el modelo de informe desde el 1 de julio de 2018 y los documentos correspondientes <sup>(17)</sup>.

Las secciones 3.4.1 a 3.4.4 ofrecen una breve sinopsis de los parámetros pertinentes sobre la base de los sistemas de seguimiento existentes de los ICP desarrollados en el marco del Convenio LRTAP. En lo que respecta a la acidificación y la eutrofización, esos sistemas se han desarrollado hasta ahora únicamente para bosques y formaciones forestales, y ecosistemas de agua dulce. El seguimiento de los efectos del ozono se ha centrado principalmente en las tierras de cultivo.

<sup>(16)</sup> Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Múcher, C.A., Watkins, J.W. 2005. «A climatic stratification of the environment of Europe» *Global Ecology and Biogeography* 14: 549-563. Enlace DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-822x.2005.00190.x>

<sup>(17)</sup> Véase <http://ec.europa.eu/environment/air/reduction/ecosysmonitoring.htm>, especialmente <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/Technical%20Specifications%20NEC%20Article%209%20location%20and%20indicators%20final.docx> y <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/template%20NEC%20Article%209%20location%20and%20indicators%20for%2001%20July%202018%20final.xlsx>



Dichas secciones, ligeramente revisadas y ajustadas, pueden utilizarse como orientación para el seguimiento de otros ecosistemas y hábitats exigido con arreglo al artículo 9 de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, como los prados, brezales y otros ecosistemas naturales o seminaturales. También pueden incluirse los ecosistemas naturales y seminaturales de zonas específicas tales como las zonas urbanas y periurbanas o las zonas costeras, ya que son de especial interés para las políticas conexas de los Estados miembros.

Como se indica en la sección 4, pueden incorporarse datos e información procedentes de otras redes de seguimiento para mejorar la rentabilidad y evitar trabajos paralelos. La acción 5 de la Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020, MAES (cartografía y evaluación de los ecosistemas y sus servicios), especialmente en su 5.º informe <sup>(18)</sup>, proporciona información complementaria sobre la manera de medir y evaluar el estado de los ecosistemas y los indicadores asociados que pueden utilizarse.

#### 3.4.1. Ecosistemas terrestres: bosques y formaciones forestales en el marco del ICP

El cuadro 2 presenta los parámetros y las frecuencias de seguimiento correspondientes en parcelas <sup>(19)</sup> tipo de nivel I y nivel II en relación con los ecosistemas forestales, de acuerdo con el planteamiento del ICP Forests y teniendo debidamente en cuenta el anexo V de la Directiva sobre techos nacionales de emisión. En un extenso manual <sup>(20)</sup> se describen pormenorizadamente todos los métodos aplicados para el seguimiento del estado de los ecosistemas forestales con intensidad tanto de nivel I como de nivel II, y en el cuadro que se ofrece a continuación se dan las referencias a las secciones pertinentes de ese manual, también con respecto a los datos que deben notificarse. En ese manual y en internet (<http://icp-forests.net/>) puede accederse a una visión general sobre los trabajos realizados en el marco del ICP Forests y a los respectivos parámetros del programa completo.

Cuadro 2

#### Complejos indicadores, parámetros y fuentes de métodos del ICP Forests seleccionados para completar los indicadores optativos del anexo V de la Directiva sobre techos nacionales de emisión

Medición (complejo indicador)	Parámetros	Frecuencia	Métodos
Acidez del suelo en la fase sólida del suelo	Concentración de elementos (cationes básicos, etc.) Ca, Mg, K, Na, Al <sub>ex</sub> , N <sub>tot</sub> y relación C/N.	Cada 10-15 años en las parcelas de nivel I y de nivel II	Parte X
Acidez del suelo en la solución del suelo	pH, [SO <sub>x</sub> ] (*), [NO <sub>3</sub> ], [cationes básicos (Ca, Mg, K, Na)], [Al <sub>ex</sub> ].	Cada 4 semanas en las parcelas de nivel II	Parte XI
Lixiviado de nitratos del suelo, en la solución del suelo	[NO <sub>3</sub> <sup>+</sup> ] en la capa más profunda del suelo (40-80 cm); para calcular los flujos debe aplicarse un modelo de flujo del agua del suelo (modelo de balance hídrico)	Cada 4 semanas en las parcelas de nivel II	Parte X, modelo de balance hídrico, véase la parte IX
Relación C/N + N del suelo total, en la fase sólida del suelo	C <sub>stock</sub> , N <sub>stock</sub> , relación C/N	Cada 10-15 años en las parcelas de nivel I y de nivel II	Parte X
Balance de nutrientes en el follaje	[N], [P], [K], [Mg], y relaciones con [N].	Cada 2 años en las parcelas de nivel II, cada 10-15 años en las parcelas de nivel I	Parte XII

(\*) []: concentraciones.

Hay otros parámetros que cubren otros elementos y propiedades importantes de los ecosistemas forestales, como la edad de los rodales, las especies de árboles y la composición y diversidad del sotobosque, el estado de las copas, el índice de superficie foliar (LAI, *leaf area index*), la química de la trascolación, la cantidad y química del desfronde o la composición de los líquenes epífitos (en troncos) que son importantes y que pueden complementar los indicadores optativos del anexo V de la Directiva sobre techos nacionales de emisión. Los métodos respectivos se describen en las partes correspondientes del manual del ICP Forests.

<sup>(18)</sup> Maes, J. et al., 2018. *Analytical framework for mapping and assessing of ecosystem condition*, [http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem\\_assessment/pdf/Brochure%20MAES.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/knowledge/ecosystem_assessment/pdf/Brochure%20MAES.pdf)

<sup>(19)</sup> El ICP utiliza el término «parcela» en vez de «lugar».

<sup>(20)</sup> Centro de Coordinación del Programa ICP Forests de la CEPE/ONU, 2016. <http://www.icp-forests.org/Manual.htm>

En algunos lugares del ICP Forests, y también en otros lugares de ecosistemas forestales y terrestres, la concentración de nitrógeno en los musgos es objeto de seguimiento cada cinco años (además de los metales pesados y una serie de contaminantes orgánicos persistentes) y se notifica al ICP Vegetation (manual disponible en <http://icpvegetation.ceh.ac.uk>).

### 3.4.2. Ecosistemas de agua dulce: ríos y lagos en el marco del ICP

Las aguas superficiales, como ríos y lagos, son en muchos casos el primer medio dentro del ecosistema que reacciona a la acidificación y la eutrofización. En zonas de montaña en muchas partes de Europa se encuentran cuencas sensibles a los ácidos, con suelos finos, muy silíceos y con poca capacidad para retener sulfatos y nitratos. Las poblaciones de peces y otros organismos acuáticos se han visto gravemente dañadas a lo largo de los últimos 100 años. En muchos ríos y lagos, se han perdido poblaciones de peces debido a la contaminación atmosférica transfronteriza. Los niveles de sulfatos, nitratos, alcalinidad, pH y aluminio en aguas sensibles responden rápidamente a los cambios en las emisiones, con los consiguientes efectos sobre organismos sensibles y, por ende, sobre todo el ecosistema. Esos efectos son evidentes a distancias tanto relativamente próximas como alejadas de las emisiones más importantes. Cuando las emisiones empezaron a reducirse en la década de 1980, los indicadores químicos del agua también comenzaron rápidamente a dar signos de mejoría, pero la recuperación biológica se ha retrasado. Más recientemente, se ha comprobado también que la deposición de nitrógeno puede tener un efecto fertilizante (eutrofización) en algunas aguas superficiales de zonas vírgenes alejadas de perturbaciones humanas directas. El aumento de las cargas de nitrógeno atmosférico podría, por tanto, modificar el funcionamiento de la red alimentaria acuática, con consecuencias potencialmente graves. La biología y la química del agua en aguas superficiales son algunos de los mejores indicadores de los efectos sobre los ecosistemas en Europa de la contaminación atmosférica y de las medidas de mitigación.

Un programa diseñado para seguir los efectos de la deposición de azufre y nitrógeno en las aguas dulces debe incluir, como mínimo, los parámetros que figuran en el *cuadro 3*. La frecuencia de muestreo debe reflejar la variación temporal en el lugar que es objeto de seguimiento. Los lugares en los que el agua se intercambia con rapidez responderán antes a los cambios en la deposición. El ICP Waters recomienda que los lagos y ríos con una velocidad de flujo alta se sometan a un muestreo como mínimo mensual (ICP Waters, 2010). El muestreo trimestral o estacional puede ser adecuado en el caso de los lagos en los que el agua tiene un tiempo teórico de permanencia superior a unos pocos meses. Se recomienda encarecidamente someter a seguimiento biológico las especies o comunidades sensibles en, al menos, algunos de los lugares seleccionados (*cuadro 4*).

Otros parámetros físicos y químicos, tales como la temperatura, el caudal del agua, las fracciones de aluminio y el nitrógeno y fósforo totales, proporcionan una información suplementaria que, dependiendo de las condiciones locales, puede resultar de utilidad, por ejemplo para interpretar los efectos biológicos de la contaminación atmosférica.

*Cuadro 3*

#### **Ríos y lagos: parámetros mínimos recomendados, química en el marco del ICP Waters.**

*Para más detalles y explicaciones, véase el manual del ICP Waters (ICP Waters, 2010). Las referencias corresponden a capítulos del manual*

Medición	Parámetros	Frecuencia	Método	Datos que deben notificarse
Sensibilidad de la cuenca del lago y efectos hidroquímicos de la contaminación atmosférica (acidificación)	Alcalinidad, sulfatos, nitratos, cloruros, pH, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbono orgánico disuelto y conductividad específica	Estacional/trimestral a anual, dependiendo de la velocidad de flujo	Muestreo con cuchara de la capa superior (0,1-1 m) o de la desembocadura del lago. Se describe en el capítulo 3.	Iones principales (mg/l), nitratos ( $\mu\text{g N/l}$ ), pH, COD (mg C/l), alcalinidad ( $\mu\text{eq/l}$ ), conductividad a 25 °C ( $\mu\text{S/cm}$ )
Sensibilidad de la cuenca del río/el arroyo y efectos hidroquímicos de la contaminación atmosférica (acidificación)	Alcalinidad, sulfatos, nitratos, cloruros, pH, calcio, magnesio, sodio, potasio, carbono orgánico disuelto y conductividad específica	Mensual	Muestreo con cuchara. Se describe en el capítulo 3.	Iones principales (mg/l), nitratos ( $\mu\text{g N/L}$ ), pH, COD (mg C/l), alcalinidad ( $\mu\text{eq/L}$ ), conductividad a 25 °C ( $\mu\text{S/cm}$ )

Cuadro 4

**Ríos y lagos: parámetros adicionales recomendados, biología en el marco del ICP Waters.**

Para más detalles y explicaciones, véase el manual del ICP Waters. Las referencias corresponden a capítulos del manual

Medición	Parámetros	Frecuencia	Método	Datos que deben notificarse
Indicadores biológicos de la contaminación atmosférica (acidificación). Fauna bentónica de invertebrados en ríos y lagos	Presencia/ausencia o abundancia relativa de grupos/especies particulares	Estacional a anual	Muestreo «kick» (con red y agitación con pies y manos), muestreo litoral o muestreo con cilindro. Véase el capítulo 4. Los métodos de la DMA se basan en normas CEN e ISO y se consideran métodos adecuados.	Datos cualitativos o cuantitativos. <a href="http://www.icp-waters.no/data/submit-data/">http://www.icp-waters.no/data/submit-data/</a>

Otros grupos, tales como peces, diatomeas y perfitos, pueden usarse también como bioindicadores de la acidificación.

### 3.4.3. Ecosistemas terrestres: daño por ozono en el marco del ICP

El seguimiento del daño por ozono plantea retos específicos. Los compuestos de azufre y nitrógeno depositados permanecen en los ecosistemas terrestres y de agua dulce tanto en la vegetación como en el suelo en una forma química que puede ser objeto de seguimiento, en particular por sus concentraciones en plantas y musgos (véanse los cuadros 3 y 4). Además, los depósitos de azufre o nitrógeno provocan la acidificación de las aguas dulces y los suelos, lo que puede ser objeto de seguimiento. En cambio, el ozono en sí no se acumula en la vegetación ni en el suelo; los que causan el daño son los productos de la degradación del ozono en el interior de las plantas y las reacciones de las plantas a esos productos.

Una exposición excesiva al ozono troposférico tiene efectos nocivos sobre muchos tipos de vegetación, lo que afecta a los ecosistemas terrestres y los servicios que ofrecen (por ejemplo, producción de alimentos y madera, captura de carbono, calidad del aire y regulación del clima). Entre los efectos que afectan a las especies sensibles al ozono cabe citar los siguientes: daños foliares visibles, reducción del crecimiento y de la calidad y cantidad del rendimiento de las cosechas, del número de flores y de la producción de semillas, así como una mayor vulnerabilidad al estrés abiótico, como heladas o sequías, y biótico, como plagas y enfermedades.

El único daño visible en los ecosistemas terrestres que puede atribuirse directamente al ozono es el daño foliar. El daño foliar causado específicamente por el ozono se produce en especies sensibles al ozono durante días con altas concentraciones de ozono troposférico. No existe, sin embargo, una relación clara entre el daño foliar provocado por el ozono y el impacto sobre parámetros importantes de la vegetación, como el crecimiento (por ejemplo, el crecimiento de los árboles) o el rendimiento (en el caso de las cosechas). En el caso de las hortalizas de hoja, si el daño foliar es visible, se reducirá su valor comercial. Sobre la base de datos experimentales, se han establecido niveles críticos de ozono para parámetros tales como la biomasa arbórea y el rendimiento de las cosechas, ya que estos representan los efectos acumulativos de la exposición estacional al ozono.

Los niveles críticos de ozono se definen como la exposición acumulada o el flujo estomático acumulado de contaminantes atmosféricos por encima del cual pueden producirse efectos adversos directos sobre vegetación sensible según los conocimientos actuales. Los niveles críticos y los valores objetivo correspondientes al ozono establecidos en la legislación europea [Directiva 2008/50/CE <sup>(21)</sup>] en relación con la protección de la vegetación se basan en la concentración acumulada de ozono. La investigación más reciente ha puesto de manifiesto que los valores objetivo basados en el flujo estomático acumulado de ozono [por ejemplo, el indicador POD (dosis fitotóxica de ozono)] son biológicamente más pertinentes que los basados en la concentración (por ejemplo, el valor AOT40), ya que dan una estimación de la cantidad de ozono que penetra por los poros de las hojas (estomas) y provoca daños en el interior de la planta (Mills *et al.*, 2011a,b). La metodología de cálculo de la POD ha sido desarrollada y aplicada por el ICP Vegetation utilizando el modelo DO<sub>3</sub>SE. El seguimiento de las concentraciones horarias de ozono y de parámetros meteorológicos (cuadro 5) permite calcular el flujo estomático acumulado de ozono en especies vegetales específicas. La superación de los niveles críticos basados en el flujo estomático indica que hay un riesgo de que el ozono provoque un impacto en las especies sensibles al ozono presentes en el lugar. En el *Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends* <sup>(22)</sup> se ofrece información detallada sobre el cálculo de la POD y su aplicación.

<sup>(21)</sup> Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (DO L 152 de 11.6.2008, p. 1).

<sup>(22)</sup> <https://icpvegetation.ceh.ac.uk/publications/thematic>; en particular [https://www.icpmapping.org/Latest\\_update\\_Mapping\\_Manual](https://www.icpmapping.org/Latest_update_Mapping_Manual), Capítulo 3: «Mapping critical levels for vegetation», Convenio LTRAP, 2017

Cuadro 5

**Indicadores para la evaluación del daño por ozono a la vegetación con arreglo al anexo V de la Directiva sobre techos nacionales de emisión**

*Para más detalles y explicaciones, véanse los manuales de los ICP indicados*

Indicador	Medición	Frecuencia	Referencia para la metodología y notificación de datos
Daño foliar por ozono en los árboles	Síntomas visibles causados por el ozono en las hojas de especies arbóreas y en árboles y plantas leñosas en puntos de muestreo expuestos a la luz ( <i>Light Exposed Sampling Sites: LESS</i> ). Crecimiento diametral de los árboles.	Síntomas visibles causados por el ozono: anual en parcelas de nivel II. Crecimiento diametral: cada cinco años.	Parte VIII (síntomas visibles causados por el ozono) y parte V (crecimiento diametral) del manual del ICP Forests
Daño foliar por ozono en cultivos y especies no arbóreas	Síntomas visibles causados por el ozono en las hojas. Cultivos: rendimiento cosechado.	Síntomas visibles causados por el ozono: al menos anualmente durante el período de crecimiento, de preferencia inmediatamente después (3 a 7 días) de un episodio de ozono <sup>(f)</sup> . Rendimiento del cultivo: anual.	<a href="http://icpvegetation.ceh.ac.uk">http://icpvegetation.ceh.ac.uk</a> . Pendiente de revisión de manuales anteriores para adaptarse a la Directiva sobre techos nacionales de emisión (incluidas las listas de especies sensibles al ozono)
Superación de los niveles críticos de ozono basados en el flujo	Concentración de ozono <sup>(ii)</sup> , meteorología <sup>(iii)</sup> (temperatura, humedad relativa, intensidad de la luz, pluviometría, velocidad del viento, presión atmosférica) y tipo de suelo (arenoso, arcilloso o limoso) del lugar o sus proximidades <sup>(iv)</sup> . El modelo DO <sub>3</sub> SE basado en el flujo puede utilizarse para calcular el flujo de ozono y la superación de los niveles críticos.	Cada año: datos horarios durante el período de crecimiento <sup>(v)</sup> .	Método incluido en el manual <i>Modelling and Mapping Manual</i> del Convenio LRTAP, capítulo 3: «Mapping critical levels for vegetation» ( <a href="http://icpvegetation.ceh.ac.uk">http://icpvegetation.ceh.ac.uk</a> , incluido el enlace a la versión en línea del modelo DO <sub>3</sub> SE <sup>(vi)</sup> ).

<sup>(f)</sup> Una definición de «episodio de ozono» puede encontrarse en <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/resources/glossary/ozone-episode>

<sup>(ii)</sup> Se requiere información sobre la altura de medición.

<sup>(iii)</sup> Si no se dispone de datos medidos, podrían utilizarse datos horarios modelizados.

<sup>(iv)</sup> Se requiere información sobre la latitud y altitud del lugar, así como la zona biogeográfica donde este se encuentra (véase el gráfico 1).

<sup>(v)</sup> Para calcular el flujo estomático de ozono se necesitan concentraciones horarias de ozono medidas y datos meteorológicos. El cálculo de los flujos a partir de datos estimados de concentraciones horarias de ozono utilizando muestreadores pasivos (ozono acumulado durante un período de entre 1 y 2 semanas) presenta un alto grado de incertidumbre.

<sup>(vi)</sup> <https://www.sei-international.org/do3se>

#### 3.4.4. Seguimiento integrado de los ecosistemas terrestres y de agua dulce en el marco del ICP

El seguimiento integrado de los ecosistemas consiste en la medición simultánea y en profundidad de las propiedades físicas, químicas y biológicas de una cuenca a lo largo del tiempo y en los diversos compartimentos. Debido a su complejidad, el seguimiento integrado no pretende abarcar grandes superficies, sino más bien mejorar la comprensión causal de la relación entre el aire, el suelo, el agua y la respuesta biológica fundamentalmente en los ecosistemas forestales. Como tales, esos lugares de seguimiento podrían, por un lado, proporcionar datos sobre ecosistemas específicos, por ejemplo los ecosistemas forestales o de agua dulce y, por otro, permitir distinguir mejor entre los impactos de la contaminación atmosférica y los de otras posibles fuentes de contaminación. En general, los Estados miembros han designado pocos puntos en los que se lleve a cabo tal seguimiento detallado. Se recomienda a los Estados miembros que dispongan al menos de dos lugares que cubran los gradientes climáticos y de deposición pertinentes. Los lugares de seguimiento integrado deben ser cuencas pequeñas, bien delimitadas, en zonas naturales o seminaturales. Los elementos que deben medirse son, por ejemplo, la meteorología, la deposición húmeda y seca, la trascolación, la química del suelo (fase líquida y fase sólida), la química de las aguas superficiales y subterráneas y la respuesta biológica (es decir, vegetación y otros elementos biológicos). Lo que se pretende es seguir y evaluar las tendencias biogeoquímicas y las respuestas biológicas; separar el ruido y la variación natural de la señal de una perturbación antropogénica mediante el seguimiento de los ecosistemas forestales naturales; y desarrollar y aplicar herramientas, por ejemplo modelos, para la evaluación y predicción a nivel regional de efectos a largo plazo.

En el *cuadro 6* se presentan las variables pertinentes con arreglo al anexo V de la Directiva sobre techos nacionales de emisión y los efectos de la contaminación atmosférica sobre los ecosistemas. En el manual del ICP Integrated Monitoring <sup>(23)</sup> se ofrece una descripción detallada de los equipos, diseños y metodologías necesarios. El programa de medición completo y exhaustivo también permite realizar una modelización detallada, un análisis causa-efecto y un estudio de las interacciones con procesos del cambio climático <sup>(24)</sup> <sup>(25)</sup> <sup>(26)</sup>.

Cuadro 6

**Parámetros y frecuencia aplicables a los lugares del ICP Integrated Monitoring**

En el manual del ICP Integrated Monitoring <sup>(1)</sup> se ofrecen una metodología y una descripción detalladas

Medición (complejo indicador)	Parámetro	Frecuencia	Método
Meteorología	Precipitaciones, temperatura del aire, temperatura del suelo, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento, radiación global/radiación neta.	Mensual	Parte 7.1
Química del aire	Dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, ozono, sulfato en partículas, nitratos en aerosoles y ácido nítrico gaseoso, amoníaco y amonio en aerosoles.	Mensual	Parte 7.2
Química de la precipitación (manual EMEP)	Sulfatos, nitratos, amonio, cloruros, sodio, potasio, calcio, magnesio y alcalinidad.	Mensual	Parte 7.3
Trascolación	Sulfatos, nitratos, amonio, N total, cloruros, sodio, potasio, calcio, magnesio, carbono orgánico disuelto y ácido fuerte (por el pH).	Semanal a mensual	Parte 7.5
Química del suelo	pH (CaCl <sub>2</sub> ), S total, N total, P total, Ca intercambiable, Mg intercambiable, K intercambiable, Na intercambiable, Al intercambiable, COT, acidez valorable intercambiable (H+Al).	Cada cinco años	Parte 7.7
Química del agua del suelo	pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, método de Gran, N total, amonio, nitrato, P total, Ca, Mg, K, Na, aluminio total, aluminio lábil.	Cuatro veces al año	Parte 7.8
Química del agua de escorrentía	Alcalinidad, sulfatos, nitratos, cloruros, carbono orgánico disuelto, pH, calcio, magnesio, sodio, potasio, aluminio inorgánico (lábil), nitrógeno total, amonio, aguas de escorrentía en arroyos, conductividad específica.	Mensual	Parte 7.10
Química foliar	Ca, K, Mg, Na, N, P, S, Cu, Fe, Mn, Zn y COT.	Cada cinco años	Parte 7.12
Química del desfronde	Ca, K, Mg, Na, N, P, S, Cu, Fe, Mn, Zn y COT.	Anual	Parte 7.13
Vegetación (parcela intensiva)	Vegetación del suelo y de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, especialmente líquenes, briofitos y plantas vasculares que crecen en el suelo. Diámetro de los árboles, estructura de la cubierta de copas.	Trienal	Parte 7.17
Epífitos de tronco	Especies de líquenes que crecen en troncos de árboles vivos.	Cada cinco años	Parte 7.20

<sup>(23)</sup> [www.syke.fi/nature/icpim](http://www.syke.fi/nature/icpim)

<sup>(24)</sup> Holmberg, M., Vuorenmaa, J., Posch, M., Forsius, M., et al., 2013. «Relationship between critical load exceedances and empirical impact indicators at Integrated Monitoring sites across Europe». *Ecological Indicators* 24, 256-265.

<sup>(25)</sup> Dirnböck, T., Grandin, U., Bernhardt-Römermann, M., Beudert, B., Canullo, R., Forsius, M., Grabner, M.-T., Holmberg, M., Kleemola, S., Lundin, L., Mirtl, M., Neumann, M., Pompei, E., Salemaa, M., Starlinger, F., Staszewski, T., Uziębło, A.K., 2014. «Forest floor vegetation response to nitrogen deposition in Europe». *Global Change Biology* 20, 429-440.

<sup>(26)</sup> Vuorenmaa, J., Augustaitis, A., Beudert, B., Clarke, N., de Wit, H.A., Dirnböck, T., Frey, J., Forsius, M., Indriksone, I., Kleemola, S., 2017. «Long-term sulphate and inorganic nitrogen mass balance budgets in European ICP Integrated Monitoring catchments (1990–2012)». *Ecological Indicators* 76, 15-29.

Medición (complejo indicador)	Parámetro	Frecuencia	Método
Algas verdes aéreas	Número de ramas, vástago más joven con algas. Capa más gruesa de algas por árbol, número de vástagos anuales a los que les queda > 50 % de las agujas y número de vástagos anuales a los que les queda > 5 % de las agujas.	Anual	Parte 7.21

(1) Manual de ICP Integrated Monitoring de la CEPE/ONU, 2017, [http://www.syke.fi/en-US/Research\\_Development/Ecosystem\\_services/Monitoring/Integrated\\_Monitoring/Manual\\_for\\_Integrated\\_Monitoring](http://www.syke.fi/en-US/Research_Development/Ecosystem_services/Monitoring/Integrated_Monitoring/Manual_for_Integrated_Monitoring)

#### 4. Relación con otras actividades de seguimiento

El artículo 9 de la Directiva establece lo siguiente: Los «Estados miembros se coordinarán con otros programas de seguimiento creados en virtud de la legislación de la Unión, incluida la Directiva 2008/50/CE, la Directiva 2000/60/CE, [...] y [...] la Directiva 92/43/CEE del Consejo y, en su caso, el Convenio LRTAP y, cuando sea indicado, utilizarán los datos recabados con arreglo a esos programas».

El objetivo de esa disposición es maximizar el uso de los datos recogidos en el marco de sistemas existentes para evitar duplicaciones y generar sinergias. No obstante, es importante identificar los tipos de ecosistemas, los lugares y los parámetros objeto de consideración tal como se establece en la sección 3 para que el seguimiento sea pertinente a efectos de la Directiva sobre techos nacionales de emisión.

##### 4.1. Relación con el seguimiento en virtud de legislación e iniciativas de la UE

En virtud de la Directiva marco del agua (Directiva 2000/60/CE) se realiza un extenso seguimiento de las masas de agua dulce, y con arreglo a la Directiva de hábitats (Directiva 92/43/CEE), el seguimiento de una amplia gama de hábitats. La información notificada a la UE está disponible en las bases de datos pertinentes de Eionet <sup>(27)</sup>, coordinadas por la Agencia Europea de Medio Ambiente.

Teniendo en cuenta el objetivo y los requisitos de selección de lugares para el seguimiento en el marco de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, puede llegar a ser pertinente para los fines actuales solo un subconjunto de lugares con arreglo a la Directiva marco sobre el agua. Son principalmente los lugares cercanos a fuentes y rodeados de espacios naturales los que tienen pertinencia para establecer una relación entre la calidad del agua y los efectos de la contaminación atmosférica. En la sección 7.2 se expone un estudio de casos sobre la integración del seguimiento con arreglo a la Directiva marco sobre el agua en una red de seguimiento de los efectos de la contaminación del aire en Finlandia.

Otras fuentes de datos importantes que pueden integrarse en el seguimiento asociado al artículo 9 pueden derivarse de LUCAS (Encuesta sobre los usos y las cubiertas del suelo en la Unión Europea) <sup>(28)</sup>, por ejemplo sobre el contenido de carbono y nitrógeno del suelo. La iniciativa de la UE sobre los polinizadores <sup>(29)</sup>, así como algunos proyectos concretos de la UE sobre el seguimiento de los ecosistemas y la biodiversidad, pueden ofrecer oportunidades adicionales para la armonización, la integración y el aumento de la eficiencia de la recogida de datos entre programas de seguimiento.

##### 4.2. Relación con el seguimiento en el marco de iniciativas del Convenio LRTAP

Las actividades de seguimiento de los ecosistemas del *Grupo de trabajo sobre los efectos* (WGE) del Convenio LRTAP son directamente pertinentes para la aplicación de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, ya que tienen los mismos objetivos y han desarrollado un material de referencia técnica considerable en sus más de 20 años de existencia.

Por consiguiente, ese prolongado seguimiento en el marco del Convenio LRTAP proporciona importantes conjuntos de datos históricos seguidos de acuerdo con unas metodologías y frecuencias aprobadas y, por ende, con unos procedimientos coherentes de análisis y muestreo.

Las redes de seguimiento intensivo del WGE se basan en los ecosistemas, son temáticas (contaminación atmosférica) y están pensadas a largo plazo. Esas características permiten detectar cambios en los ecosistemas, evaluar los factores que los han propiciado e identificar los efectos de esos cambios para informar así a los responsables políticos de su estado y predecir cambios futuros.

En resumen, los objetivos del seguimiento de los ecosistemas con arreglo a la Directiva sobre techos nacionales de emisión son idénticos a los de las redes de seguimiento existentes en el marco del Convenio LRTAP y, por tanto, ese seguimiento debería resultar también de utilidad a efectos de dicha Directiva porque:

- se aplica a indicadores de los efectos de la acidificación, la eutrofización y el ozono en los ecosistemas (casi todos los parámetros del anexo V),
- detecta cambios en los ecosistemas,

<sup>(27)</sup> [https://bd.eionet.europa.eu/activities/Reporting/Article\\_17](https://bd.eionet.europa.eu/activities/Reporting/Article_17), [http://cdr.eionet.europa.eu/help/WFD/WFD\\_521\\_2016](http://cdr.eionet.europa.eu/help/WFD/WFD_521_2016)

<sup>(28)</sup> [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS\\_-\\_Land\\_use\\_and\\_land\\_cover\\_survey](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/LUCAS_-_Land_use_and_land_cover_survey)

<sup>(29)</sup> [http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/pollinators/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/species/pollinators/index_en.htm)

- identifica la velocidad del cambio o tendencia (escala temporal), el alcance del cambio (escala espacial) y su intensidad (magnitud del efecto),
- permite saber cómo van a afectar los cambios al estado de los ecosistemas,
- permite predecir e identificar los cambios que están relacionados con procesos naturales y los que lo están con actividades humanas,
- facilita la modelización de la dinámica de los ecosistemas y los procesos asociados,
- permite predecir efectos potencialmente negativos y, por lo tanto, lanzar «alertas tempranas»,
- permite evaluar la eficacia de las políticas.

Por otra parte, conviene destacar que, en el Convenio LRTAP, el seguimiento temático combina el seguimiento tanto de las amenazas de la contaminación atmosférica como de sus efectos con el fin de alcanzar un nivel suficiente de previsibilidad para orientar mejor la acción política. El seguimiento simultáneo de las tendencias tanto de las presiones sobre los ecosistemas (contaminación atmosférica) como de los efectos ecosistémicos mejora la interpretación de los resultados.

#### 4.3. Relación con otras redes de seguimiento

Para el seguimiento de tipos de ecosistemas que no están cubiertos por los ICP, puede considerarse la posibilidad de utilizar la red LTER-Europe (*Long Term Ecosystem Research Europe*). LTER-Europe es una organización central y una infraestructura de investigación europea de lugares y estaciones de investigación que llevan a cabo el seguimiento y la investigación del medio ambiente y los ecosistemas <sup>(30)</sup>. Uno de sus objetivos principales es organizar todos los lugares de esas características presentes en Europa para crear una base de conocimientos que permita comprender mejor la estructura y las funciones de los ecosistemas y su respuesta a largo plazo frente a factores medioambientales, sociales y económicos.

Los principales objetivos de LTER-Europe son los siguientes:

- identificar los factores que provocan cambios en los ecosistemas en todos los gradientes ambientales y económicos europeos,
- estudiar las relaciones entre esos factores, respuestas y retos del desarrollo en el marco de una agenda común de investigación y utilizando parámetros y métodos armonizados,
- elaborar criterios para los lugares LTER y las plataformas LTSER <sup>(31)</sup> con objeto de apoyar a la ciencia de vanguardia con una infraestructura *in situ* única,
- reforzar la cooperación y las sinergias entre los distintos agentes, grupos de interés, redes, etc.

LTER-Europe pretende alcanzar esos objetivos proporcionando un marco para el desarrollo de proyectos, el trabajo conceptual, la educación, el intercambio de conocimientos especializados, la comunicación y la integración institucional. Algunos de los parámetros útiles para el seguimiento con arreglo al artículo 9 de la Directiva sobre techos nacionales de emisión ya están siendo objeto de seguimiento por LTER-Europe, y es posible que los Estados miembros deseen considerar la posibilidad de completar el sistema para abarcar otros parámetros, y estudiar cómo hacerlo <sup>(32)</sup>.

También pueden utilizarse datos procedentes de los inventarios forestales nacionales y de otras actividades nacionales de seguimiento. Los proyectos de investigación pueden ser otra fuente de datos pertinentes, como la información obtenida por teledetección, que puede proporcionar información geolocalizada de los impactos de la contaminación atmosférica sobre el estado de las plantas (por ejemplo, Cotrozzi *et al.*, 2018) <sup>(33)</sup>.

## 5. Notificación

### 5.1. Notificación de indicadores y lugares de seguimiento a partir del 1 de julio de 2018 y a continuación cada cuatro años

Al notificar la ubicación de los lugares de seguimiento y los indicadores asociados utilizados para seguir los efectos de la contaminación atmosférica, de conformidad con el artículo 10, apartado 4, letra a), de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, debe indicarse lo siguiente:

- las coordenadas y la altitud del lugar, su denominación, el tipo de hábitat/ecosistema y una breve descripción del lugar,
- detalles de los parámetros que son objeto de seguimiento en cada lugar.

Esa información debe ir acompañada de una explicación que precise cómo se diseñó la red habida cuenta de los requisitos establecidos en el artículo 9 de la Directiva sobre techos nacionales de emisión.

<sup>(30)</sup> [www.lter-europe.net](http://www.lter-europe.net).

<sup>(31)</sup> *Long-Term Socio-Economic Research*.

<sup>(32)</sup> Los lugares LTER y sus programas de medición se pueden encontrar en <https://data.lter-europe.net/deims/>

<sup>(33)</sup> Cotrozzi, L., Townsend, P. A., Pellegrini, E., Nali, C., Couture, J. J., 2018, «Reflectance spectroscopy: a novel approach to better understand and monitor the impact of air pollution on Mediterranean plants». <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9568-2>

## 5.2. *Notificación de flujos de datos a partir del 1 de julio de 2019 y a continuación cada cuatro años*

La notificación de los datos de seguimiento a que se refiere el artículo 9 de la Directiva sobre techos nacionales de emisión, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 10, apartado 4, letra b), debe reflejar los principios siguientes:

- la notificación debe estar normalizada siguiendo al máximo posible los flujos de datos existentes,
- debe tener en cuenta la conformidad con INSPIRE <sup>(34)</sup>,
- debe basarse en los sistemas de notificación establecidos en el marco de los ICP.

Sobre esta base, la Comisión y la Agencia Europea de Medio Ambiente han elaborado un modelo <sup>(35)</sup> en relación con esos requisitos de notificación, cuyo uso se recomienda encarecidamente para que los datos puedan compararse entre sí y sean coherentes, así como para facilitar su análisis.

## 6. **Apoyo a la aplicación**

El intercambio de información sobre las prácticas de los Estados miembros que ha contribuido a la elaboración del presente documento ha sido muy útil. En este contexto, el instrumento entre pares establecido en el marco de la revisión de la aplicación de la política medioambiental de la Comisión ofrece la posibilidad de organizar más el apoyo mutuo, en forma, bien de mecanismos de apoyo al hermanamiento, o bien de intercambios entre grupos más grandes de Estados miembros en materia de aplicación y buenas prácticas. La herramienta utiliza el consolidado instrumento TAIEX de la Comisión que, a petición de las autoridades públicas (nacionales, regionales, locales, etc.) de un Estado miembro, puede organizar misiones de expertos de las administraciones públicas responsables de medio ambiente con el objetivo de obtener conocimientos especializados, realizar visitas de estudio del personal a otro Estado miembro a fin de aprender de sus homólogos y celebrar talleres de uno solo o de varios países. Más información, la aplicación informática y el registro de expertos figuran en este sitio web:

[http://ec.europa.eu/environment/eir/p2p/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/eir/p2p/index_en.htm)

Por otra parte, los ICP celebran reuniones anuales a las que pueden asistir expertos nacionales para aprender más sobre el seguimiento y compartir experiencias en materia de gestión de lugares. Puede encontrarse más información en el siguiente sitio web:

<https://www.unece.org/environmental-policy/conventions/envlrapwelcome/meetings-and-events.html#/>

## 7. **Estudios de casos**

### 7.1. *Seguimiento del ozono en el Reino Unido*

El Reino Unido tiene un lugar de seguimiento intensivo del ozono gestionado por el Centro de Coordinación del programa ICP Vegetation. En ese lugar, se realiza el seguimiento de la meteorología y las concentraciones horarias de ozono para calcular los flujos estomáticos acumulados de ozono (POD) durante el período de crecimiento de una serie de especies vegetales (cultivos, árboles, vegetación natural y seminatural). Por consiguiente, puede calcularse la superación de los niveles críticos de ozono basados en el flujo. Además, se siguen periódicamente los daños foliares en especies sensibles al ozono, pero no suelen observarse debido a las concentraciones generalmente bajas de ozono en el aire ambiente del lugar. El Reino Unido también cuenta con una red rural de aproximadamente 20 lugares de seguimiento en los que se registran las concentraciones horarias de ozono. Cuando se combinan con datos meteorológicos modelizados, puede calcularse la superación de los niveles críticos del ozono basados en el flujo en esos lugares. En la actualidad no se efectúa en esos lugares el seguimiento del daño foliar causado por el ozono.

### 7.2. *Integración del seguimiento de las aguas superficiales en Finlandia con arreglo a la Directiva marco del agua (DMA), los programas ICP del Convenio LRTAP y la Directiva sobre techos nacionales de emisión*

La Directiva marco sobre el agua (Directiva 2000/60/CE) obliga a los Estados miembros a aplicar un programa de control de vigilancia con objeto de disponer de información para, por ejemplo, la evaluación de los cambios a largo plazo en las condiciones naturales y de los cambios a largo plazo resultado de una actividad antropogénica muy extendida (global). Para cumplir esos objetivos en materia de vigilancia, debe realizarse el seguimiento del estado ecológico y químico de las aguas superficiales generalmente en masas de aguas representativas de las condiciones naturales o seminaturales de referencia y/o de un estado ecológico bueno/muy bueno. El seguimiento de los impactos de la contaminación atmosférica por azufre y nitrógeno sobre los ecosistemas acuáticos en el marco del Convenio LRTAP tiene principalmente los mismos objetivos y diseños de la vigilancia y, por tanto, el seguimiento de los ecosistemas acuáticos con arreglo a los programas ICP del Convenio LRTAP es pertinente para el seguimiento de la DMA en lugares de referencia (y viceversa). Los fines y objetivos de esos programas de seguimiento también son pertinentes para el seguimiento de los ecosistemas en el marco de la Directiva sobre techos nacionales de emisión.

<sup>(34)</sup> <https://inspire.ec.europa.eu/>

<sup>(35)</sup> <http://ec.europa.eu/environment/air/reduction/ecosysmonitoring.htm>



El seguimiento de la DMA en los lugares de referencia de Finlandia —tanto químico como biológico— se realiza principalmente en lagos y arroyos situados en zonas remotas o protegidas o en cuencas de otras zonas con muy poca o ninguna influencia humana directa. En general, esos tipos de aguas dulces de Finlandia son oligotróficas o distróficas, la cuenca terrestre está principalmente cubierta de bosques y la química del agua se caracteriza por una fuerza iónica débil o moderada. Esas masas de agua son, por tanto, sensibles a los efectos de la contaminación atmosférica. Para realizar el seguimiento del estado ecológico y químico de lagos y ríos de conformidad con la DMA, la tipología, que es representativa de las aguas dulces, sus hábitats naturales y seminaturales de Finlandia, consiste en los siguientes tipos de ríos y lagos (*cuadro 8*):

Cuadro 8

**Tipología de las masas de agua dulce de Finlandia**

([http://www.ymparisto.fi/en-US/Waters/State\\_of\\_the\\_surface\\_waters/Typology\\_of\\_surface\\_waters](http://www.ymparisto.fi/en-US/Waters/State_of_the_surface_waters/Typology_of_surface_waters)).

Tipos de lagos	Tipos de ríos
Lagos pequeños y medianos pobres en humus	Ríos pequeños en turberas
Lagos pequeños húmicos	Ríos pequeños en regiones con suelos minerales
Lagos medianos húmicos	Ríos pequeños en regiones con suelos arcillosos
Lagos grandes pobres en humus	Ríos medianos en turberas
Lagos grandes húmicos	Ríos medianos en regiones con suelos minerales
Lagos ricos en humus	Ríos medianos en regiones con suelos arcillosos
Lagos poco profundos pobres en humus	Ríos grandes en turberas
Lagos húmicos poco profundos	Ríos grandes en regiones con suelos minerales
Lagos poco profundos ricos en humus	Lagos grandes en regiones con suelos arcillosos
Lagos con muy escasa retención del agua	Ríos muy grandes en turberas
Lagos del norte de Laponia	Ríos muy grandes en regiones con suelos minerales
Lagos ricos en nutrientes y calcio de forma natural	

De esos doce tipos de lagos a efectos del seguimiento en el marco de la DMA, los tipos «lagos pequeños pobres en humus» o «lagos pequeños húmicos» (incluidos los poco profundos) incluyen lagos pequeños ( $A < 1 \text{ km}^2$ ) de cabecera de bosque, que son comunes en regiones boreales en bosques de coníferas y zonas de turberas y numerosos en Finlandia, y han resultado ser sensibles a la contaminación atmosférica y buenos indicadores de sus efectos. El tipo «lagos del norte de Laponia» abarca también lagos sensibles en bosques o zonas de montaña del norte de Finlandia con una fuerza iónica escasa y pobres en nutrientes como características químicas. Por su parte, los tipos «ríos pequeños en turberas» y «ríos pequeños en regiones con suelos minerales» incluyen pequeños arroyos en bosques o zonas de montaña, y muchos de ellos son sensibles a los efectos de los contaminantes atmosféricos y buenos indicadores de ellos.

En Finlandia, el seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica sobre los lagos y arroyos en zonas boscosas y montañosas de referencia se realiza con arreglo al Convenio LRTAP (ICP Waters, ICP Integrated Monitoring) y a los programas nacionales de seguimiento. El seguimiento periódico comenzó en la mayoría de los lugares en 1990, y en la actualidad se está llevando a cabo en 34 lugares a lo largo de todo el país. Para completar el seguimiento de la DMA en lugares de referencia, 18 de los 34 lugares nacionales/ICP se integraron en el seguimiento/notificación de la DMA para conseguir información sobre los cambios a largo plazo de las condiciones naturales y sobre los cambios resultantes de presiones globales, principalmente de la deposición atmosférica y del cambio climático. Por su parte, el seguimiento de la DMA proporciona datos biológicos para cumplir los requisitos de las evaluaciones basadas en el Convenio LRTAP. Las

evaluaciones basadas en el Convenio LRTAP y los programas nacionales de seguimiento adecuados para la evaluación de los efectos de la contaminación atmosférica cumplen las exigencias de análisis químico de la DMA, incluidos el pH, la alcalinidad, los principales aniones y cationes, los nutrientes y el carbono orgánico disuelto. Los objetivos del seguimiento, el diseño de la vigilancia (como el establecimiento/selección de los lugares, la toma de muestras y los análisis químicos) y una base de datos común los coordina la Administración estatal de medio ambiente, incluidos el Instituto finlandés de medio ambiente y trece Centros de economía, desarrollo, transporte y medio ambiente. El Instituto de Recursos Naturales de Finlandia (Luke), que es estatal, también participa en el seguimiento nacional de la DMA y aporta autoridad y conocimientos técnicos en relación con el seguimiento de los peces. Las actividades centralizadas permiten aplicar un enfoque flexible y rentable basado en los riesgos al seguimiento y la notificación en el marco de diferentes programas internacionales, así como en la planificación y la aplicación de nuevos programas de seguimiento, como el realizado con arreglo a la Directiva sobre techos nacionales de emisión.

---