

Cálculo del cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo

*Metodología de seguimiento
del indicador 6.6.1
de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*

Esta metodología se actualizó en marzo de 2020 y sustituye a la versión publicada en noviembre de 2018. El objetivo de la actualización es incluir información complementaria en la introducción y en la sección de antecedentes. También se ha añadido información a varias de las secciones de los subindicadores para facilitar la comprensión del proceso de generación de datos de los subindicadores a partir de las observaciones de la Tierra realizadas desde satélites.

Introducción

El agua dulce, en cantidad suficiente y de calidad adecuada, es indispensable para todos los aspectos de la vida y fundamental para el desarrollo sostenible. Algunos ecosistemas relacionados con el agua – como los lagos, los ríos, los humedales y las aguas subterráneas– abastecen de agua y alimentos a miles de millones de personas, constituyen hábitats únicos para muchas plantas y animales y nos protegen de las sequías e inundaciones. Estos ecosistemas contienen menos del 1 % de toda el agua de la Tierra, pero albergan una diversidad excepcional, ya que dan cobijo al 40 % de todas las especies vegetales y animales, incluidas más especies de peces que cuantas se han encontrado en los océanos del mundo (Reid y otros, 2019).

Los ecosistemas relacionados con el agua poseen un enorme valor biológico, social, educativo y económico. Además de sostener los ciclos del agua, el carbono y los nutrientes de todo el planeta, proporcionan agua dulce natural purificada y regulan los flujos y las condiciones extremas. Los bienes y servicios derivados de estos ecosistemas abarcan todo el espectro del desarrollo sostenible y, además de suministrar agua potable, sustentan las actividades de diversos sectores, como la agricultura, el empleo, la generación de energía, la navegación, el esparcimiento y el turismo. La protección o el restablecimiento de ecosistemas tales como los humedales, los bosques de manglares costeros y las llanuras inundables naturales representan un importante enfoque de mitigación basado en la naturaleza, ya que estos ecosistemas actúan como sumideros de carbono que absorben las emisiones de gases de efecto invernadero (ONU-Agua, 2019). Los humedales y las turberas son un recurso sin explotar de gran valor para la mitigación; las segundas cubren tan solo un 3 % de la superficie terrestre del planeta, pero almacenan al menos el doble de carbono que todos los bosques de la Tierra. Por su parte, los suelos de los manglares contienen más de 6.000 millones de toneladas de carbono y pueden secuestrar hasta tres o cuatro veces más carbono que los suelos normales (UICN, 2017).

El buen funcionamiento de los ecosistemas relacionados con el agua y la gestión adecuada de los recursos hídricos son factores que contribuyen al logro de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Sin embargo, un problema que dificulta considerablemente la protección y el restablecimiento eficaces de esos ecosistemas es que su gestión suele centrarse en el suministro de agua para usos exclusivamente humanos y productivos, sin tomar en suficiente consideración la integridad de sus funciones ecológicas y la diversidad biológica de las especies que los habitan. Consecuencia de ello ha sido el sacrificio de formas de vida lacustres y fluviales, lo que en última instancia también puede llevar a la destrucción de los ecosistemas necesarios para sustentar esos usos. En ningún ámbito es tan aguda la crisis de la diversidad biológica como en los ecosistemas de agua dulce (Albert y otros, 2020). Los humedales desaparecen al triple de velocidad que los bosques: se estima que en los últimos 300 años se ha perdido el 87 % de todos los humedales del planeta, y más del 50 % desde 1900 (Gardner y otros, 2018).

Las amenazas que se ciernen sobre los ecosistemas relacionados con el agua (alteración del flujo, pérdida de conectividad, contaminación, degradación y pérdida de hábitat, y sobreexplotación de las especies) son el resultado de la actividad humana en los sectores de la agricultura, la generación de energía, la urbanización, la industria, la minería, la gestión de las inundaciones y el suministro de agua para uso doméstico. Los encargados de la adopción de decisiones deberían valerse de toda la

información disponible para comprender mejor las amenazas que gravitan sobre esos ecosistemas y aplicar las medidas adecuadas para mitigarlas. El indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo de Sostenibles sigue de cerca los cambios que se producen en diversos tipos de ecosistemas relacionados con el agua a fin de informar a las instancias decisorias sobre la forma de protegerlos y restablecerlos (Objetivo de Desarrollo Sostenible 6.6) para que puedan seguir beneficiando a las personas y al planeta. Los datos del indicador tienen por objeto apoyar todos los procesos de adopción de decisiones que puedan incidir en la cantidad, la calidad y, en última instancia, la salud ecológica del agua dulce de lagos, embalses, humedales, manglares, ríos y aguas subterráneas.

Índice

1	ECOSISTEMAS RELACIONADOS CON EL AGUA	6
1.1	¿Qué son los ecosistemas relacionados con el agua?	6
1.2	¿Por qué son importantes los ecosistemas relacionados con el agua para el desarrollo sostenible?	6
1.3	Los ecosistemas relacionados con el agua en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible	7
2	SEGUIMIENTO DEL INDICADOR 6.6.1 Y PRESENTACIÓN DE INFORMES AL RESPECTO	8
2.1	Corrientes de datos y presentación de informes a nivel mundial	8
2.2	Concepción, ensayos y ajustes. La evolución de la metodología relativa a los indicadores	8
2.3	Uso de datos geoespaciales para apoyar la presentación de informes a nivel mundial	9
2.4	Explicación del indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible	10
2.5	¿Cómo se relaciona el indicador con el objetivo?	14
2.6	Evaluación de las tendencias de los datos de los subindicadores	14
2.7	El papel de los coordinadores nacionales de los indicadores	15
2.8	Un enfoque de seguimiento progresivo	15
3	METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO	18
3.1	Cuantificación de las variaciones de la extensión de ríos y lagos	18
3.2	Cuantificación de las variaciones de la extensión de los embalses	18
3.3	Medición de la extensión de los humedales	24
3.4	Cuantificación de las variaciones de la extensión de los manglares	28
3.5	Medición de la turbidez y el estado trófico de los lagos	31
3.6	Medición o modelización del caudal fluvial (aforo)	33
3.7	Medición de la cantidad de agua subterránea de los acuíferos	35
4	PORTAL DE DATOS MUNDIALES SOBRE EL INDICADOR 6.6.1	36

1 ECOSISTEMAS RELACIONADOS CON EL AGUA

1.1. ¿Qué son los ecosistemas relacionados con el agua?

Los ecosistemas relacionados con el agua son un subconjunto de todos los ecosistemas (Evolución de los ecosistemas del milenio, 2005). Contienen todos los recursos de agua dulce del mundo, ya sean naturales o artificiales, y abarcan lagos, embalses, ríos, arroyos, canales, estuarios, aguas subterráneas y varios tipos de humedales como pantanos, ciénagas, turberas, marjales, tremedales, arrozales y manglares. Los ecosistemas relacionados con el agua pueden definirse como “un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos, que, junto con un entorno no viviente dominado por la presencia de aguas corrientes o estancadas, interactúan como una unidad funcional”. (Evaluación de los ecosistemas del milenio, 2005; Dickens y otros, 2019).

1.2. ¿Por qué son importantes los ecosistemas relacionados con el agua para el desarrollo sostenible?

El agua dulce representa el 0,01 % del total del agua del planeta y los ecosistemas relacionados con el agua cubren tan solo el 0,8 % de la superficie de la Tierra (Evaluación de los ecosistemas del milenio, 2005). Sin embargo, pese a lo exiguo de esos porcentajes, los ecosistemas relacionados con el agua suministran un conjunto extraordinario de bienes y servicios que posibilitan y sustentan la vida en la Tierra. Por ejemplo, los ecosistemas relacionados con el agua figuran entre los entornos de mayor diversidad biológica del mundo y albergan cerca del 10 % de todas las especies conocidas. Además de sostener los ciclos del agua, el carbono y los nutrientes de todo el planeta, constituyen un almacenamiento natural de agua dulce durante las sequías, regulan los flujos de agua en caso de inundaciones, purifican el agua, reponen las aguas subterráneas y prestan buena parte de los servicios que utilizamos en nuestra vida cotidiana, como el abastecimiento de agua para el consumo doméstico (seguridad hídrica), la agricultura (seguridad alimentaria), la generación de energía, el empleo, la navegación, la recreación y el turismo.

Es precisamente ese valor incalculable –desde el punto de vista social, económico, ambiental y biológico– lo que hace necesario proteger los ecosistemas relacionados con el agua, y, con ello, salvaguardar la provisión de servicios de agua dulce a la sociedad y a nuestro planeta. El agua dulce es un recurso indispensable para el bienestar de todos los seres vivos. Sin una protección y una gobernanza eficaces, esos ecosistemas no tardan en menguar, degradarse o incluso desaparecer por completo. Para que los países se desarrollen de manera sostenible debemos proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua.

1.3. Los ecosistemas relacionados con el agua en la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible

La dimensión ambiental de los Objetivos de Desarrollo Sostenible se ocupa de los ecosistemas relacionados con el agua en varias metas e indicadores. El [marco de indicadores mundiales para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y metas de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible](#) comprende varios indicadores de Objetivos de Desarrollo Sostenible que cuantifican aspectos específicos sobre los ecosistemas relacionados con el agua, como el indicador 6.3.2: medición de la calidad del agua ambiental de las aguas interiores; el indicador 6.4.2: medición del estrés hídrico y de los flujos ambientales; y el indicador 15.1.2: medición de la biodiversidad de agua dulce y las zonas protegidas.

Dentro de los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, hay uno en particular –el indicador 6.6.1– que está dedicado en exclusiva a medir las variaciones de la cantidad, la calidad y la extensión del agua de los distintos tipos de ecosistemas relacionados con el agua. La descripción del indicador 6.6.1 es la siguiente: **cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo**. La finalidad del presente documento es orientar a los profesionales que se propongan supervisar y comunicar datos oficiales sobre el indicador 6.6.1. Por tanto, la información que aquí se ofrece versa íntegramente sobre el indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y es fruto de la labor del organismo custodio de los indicadores, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)¹.

¹ El PNUMA comparte la custodia del indicador 6.6.1 con la Secretaría de Ramsar, cuya metodología, basada en la presentación de informes nacionales a la Convención de Ramsar, no se trata en este documento. Los informes nacionales presentados a la Convención de Ramsar se utilizan para fundamentar los informes expositivos sobre la meta 6.6.

2 SEGUIMIENTO DEL INDICADOR 6.6.1 Y PRESENTACIÓN DE INFORMES AL RESPECTO

2.1. Corrientes de datos y presentación de informes a nivel mundial

La Agenda 2030 exige la creación de un “marco de seguimiento y examen sólido, voluntario, eficaz, participativo, transparente e integrado” para verificar los progresos realizados en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas, 2015). La Asamblea General encargó a la Comisión de Estadística de las Naciones Unidas, entidad en la que están representados los organismos estadísticos de todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas, que elaborase un marco de seguimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Con el objeto de crear un marco de indicadores mundiales se estableció el Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, que abarca 30 países de todas las regiones. Este Grupo formuló un marco de 232 indicadores que después fue adoptado por la Comisión de Estadística de las Naciones Unidas, el Consejo Económico y Social de la ONU (ECOSOC) y, por último, la Asamblea General de las Naciones Unidas. El objetivo del seguimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible es generar datos oportunos, comparables, de alta calidad y fiables desde el punto de vista estadístico a nivel mundial.

La titularidad nacional de los datos es un principio fundamental de la Agenda 2030 a efectos de aplicación, seguimiento de los progresos, actividades complementarias y examen. Cada indicador de los Objetivos de Desarrollo Sostenible se asigna a un organismo custodio para que elabore una metodología de seguimiento y presentación de informes al respecto. Corresponde al organismo custodio dirigir la elaboración de una metodología establecida internacionalmente y la concepción de un sistema de reunión de datos y presentación de informes sobre el indicador en cuestión. El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) es el organismo custodio de 26 indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, condición que incluye la responsabilidad de apoyar a los países en el seguimiento del indicador 6.6.1 y presentación de datos oficiales al respecto.

2.2. Concepción, ensayos y ajustes. La evolución de la metodología relativa a los indicadores

Al elaborar la metodología relativa al indicador 6.6.1, el PNUMA estableció un grupo de expertos técnicos² que aportaron ideas para la concepción de la metodología de seguimiento. En 2017 se puso a prueba un primer proyecto de metodología (nivel III) que se envió a todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas junto con el correspondiente material de creación de capacidad. Al cabo de ocho

² El grupo estuvo integrado por representantes de las siguientes organizaciones: Instituto Internacional de Ordenación de los Recursos Hídricos, Convenio sobre la Diversidad Biológica, Convención de Ramsar, Ecological Society of America y Grupo de Observaciones de la Tierra.

meses, unos pocos Estados miembros (el 19 %) remitieron datos al PNUMA. Estos datos resultaron ser de mala calidad y escaso alcance. Los países adujeron que no tenían más información que comunicar y que carecían de tiempo y recursos para emprender una nueva labor de seguimiento de los ecosistemas.

Tras la fase de experimentación y ensayo a nivel mundial, y para subsanar el déficit mundial de datos relativos al indicador, se revisó la metodología a fin de incorporar datos sobre los ecosistemas relacionados con el agua derivados de observaciones satelitales de la Tierra. El PNUMA colaboró con una serie de asociados que trabajan con productos de datos mundiales que se consideraron pertinentes y adecuados para el indicador. En la evaluación de las fuentes de datos mundiales se examinaron la calidad y resolución de los datos, la frecuencia de las mediciones, la cobertura mundial, las series cronológicas y la escalabilidad (es decir, los datos desglosados a nivel nacional y subnacional). El resultado es una metodología de gran rigor estadístico que produce datos comparables a nivel internacional cuya notificación no supone una carga demasiado onerosa para los países. Antes de someter la versión actualizada de la metodología a la aprobación del Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se consultó al grupo de expertos técnicos.

En la séptima reunión de este Grupo Interinstitucional y de Expertos, celebrada en abril de 2018, se aprobó la metodología relativa a los indicadores, que se clasificó como nivel II. Poco después, en noviembre de 2018, se modificó esta clasificación, y la metodología pasó a considerarse de nivel I. La clasificación en el nivel I significa que el indicador es conceptualmente claro, que se atiene a una metodología y unas normas establecidas internacionalmente, y que al menos la mitad de los países y de la población de todas las regiones en las que cabría aplicar el indicador generan datos con periodicidad.

A lo largo de 2019, el PNUMA siguió trabajando con sus asociados para mejorar los conjuntos de datos disponibles a nivel mundial que guardan relación con el indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la medición de las variaciones que se producen en los diversos tipos de ecosistemas relacionados con el agua. Con ese objeto, la metodología se actualizó en marzo de 2020 para incluir información más detallada sobre el enfoque adoptado para obtener datos derivados de las observaciones satelitales de la Tierra que guarden relación con los subindicadores.

2.3. Uso de datos geospaciales para apoyar la presentación de informes a nivel mundial

Los datos geospaciales describen la posición de elementos naturales tales como el agua o los distintos tipos de cubierta terrestre en la superficie de la Tierra y la relación que guardan entre sí. Esos datos son de gran valor para ayudar a materializar y aplicar el Programa de Desarrollo Sostenible de 2030 y sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, 169 metas y 232 indicadores. Se ha estimado que cerca del 20 % de esos indicadores puede interpretarse y cuantificarse, ya sea mediante el uso directo de los propios datos geospaciales o mediante la integración con datos estadísticos. Así pues, la obtención de datos geospaciales fiables se ha convertido en una tarea de suma importancia para los Estados Miembros que preparan sus informes nacionales, o para las organizaciones de las Naciones Unidas que elaboran

informes a nivel mundial y cada vez se valen más de la diversidad y la fiabilidad de los datos satelitales de alta resolución y de código abierto.

El grupo de trabajo sobre información geoespacial del Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible comunicó que los conjuntos de datos mundiales pueden servir de base sólida para la preparación de informes mundiales. Los organismos internacionales pueden usar conjuntos de datos mundiales de alta calidad para calcular los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y enviar datos nacionales desglosados a las autoridades nacionales para su examen y aprobación (Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los ODS, 2019).

Con el objeto de apoyar a los países en el cumplimiento de los requisitos de vigilancia y presentación de informes para el indicador 6.6.1, el PNUMA ha colaborado con organizaciones asociadas³ en la elaboración de series de datos mundiales rigurosos desde el punto de vista técnico y comparables internacionalmente, contribuyendo así de manera notable a subsanar la carencia de datos mundiales sobre las variaciones de la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua. El PNUMA invitará periódicamente a las personas de contacto de los distintos países a participar en consultas para validar los valores estimados a nivel nacional. Estas personas de contacto deberán examinar la información suministrada y comunicar cualquier comentario o inquietud al PNUMA, normalmente en el plazo de un mes (Naciones Unidas, 2018). De no recibirse ninguna respuesta durante ese período (con un recordatorio de cortesía), los valores se publicarán en la base de datos mundial de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y en todas las publicaciones internacionales relacionadas con el asunto, a fin de evitar disparidades.

2.4. Explicación del indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El indicador 6.6.1, descrito como “**cambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua con el paso del tiempo**”, tiene por objeto reunir y suministrar datos sobre la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua y la cantidad y calidad del agua que contienen.

2.4.1. ¿Qué tipos de ecosistemas relacionados con el agua deben ser objeto de seguimiento en relación con el indicador 6.6.1?

La presente metodología se articula en torno al seguimiento de diversos tipos de ecosistemas relacionados con el agua, como lagos, ríos, humedales, aguas subterráneas y cuerpos de agua artificiales como los embalses. Estos ecosistemas contienen agua dulce, con la excepción de los manglares que contienen agua salobre (es decir, una combinación de agua dulce y salada); así y todo, los manglares también se incluyen en el indicador 6.6.1. Los embalses también están incluidos en la metodología del indicador como una categoría de ecosistema relacionado con el agua; si bien es cierto que no son ecosistemas acuáticos tradicionales que necesariamente deban protegerse y restablecerse, en muchos

³ Los asociados que participan en la producción de datos y contribuyen a la unificación de esos datos en la plataforma SDG661.app son el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, Google, la NASA, el Organismo de Exploración Aeroespacial del Japón, Global Mangrove Watch, la Universidad de Aberystwyth, Brookman Consult y el Laboratorio Marino de Plymouth.

países contienen una cantidad notable de agua dulce, de ahí su inclusión. Con ello se pretende, además, que los países puedan comprender mejor las variaciones de las masas de agua artificiales en conjunción con las de las masas de agua naturales.

Los ecosistemas que *no se incluyen* en el indicador 6.6.1 son los arrecifes de coral y las praderas marinas, que están cubiertos por el Objetivo 14 (Océanos), y las montañas, los bosques y las tierras secas, que están cubiertos por el Objetivo 15 (Tierra).

El tipo de ecosistema designado con el término “humedales” engloba varias clases de zonas húmedas, como pantanos, ciénagas, tremedales, turberas, marjales y arrozales. Los manglares son también un ecosistema de este tipo (un humedal costero). En la plataforma SDG.661 se ofrecen datos mundiales sobre la extensión de los manglares por país. Estos datos se presentan por separado en la confianza de que esta diferenciación permita adoptar decisiones dirigidas específicamente a la protección y el restablecimiento de esos ecosistemas. Por consiguiente, la presente metodología distingue entre humedales y manglares. Se prevé que en los próximos años podrán tratarse por separado otros tipos de humedales gracias a los avances de las tecnologías satelitales y de producción de datos.

La cuantificación de los distintos ecosistemas incluidos en el indicador 6.6.1 se basa en uno o más de los siguientes parámetros físicos de variación: extensión, cantidad (o volumen) de agua y calidad del agua. A fin de que los encargados de adoptar decisiones se hagan una idea más ajustada de la magnitud total de la variación de los ecosistemas, conviene obtener datos por separado sobre cada uno de esos parámetros. Ahora bien, este sistema tal vez exceda la capacidad de algunos Estados Miembros, por lo que se propone la adopción de un enfoque de seguimiento progresivo (véase la sección 2.9).

2.4.2. Uso de datos geoespaciales para seguir las variaciones de los ecosistemas relacionados con el agua

Un conjunto de satélites en órbita constante alrededor del planeta efectúa observaciones y mediciones que permiten distinguir diversos tipos de cubierta terrestre, como nieve, roca desnuda, vegetación y agua. Cada tipo de cubierta terrestre refleja ondas de luz de una longitud particular. Es posible combinar miles de imágenes de cualquier lugar de la Tierra y clasificar los tipos de cubierta terrestre. Una vez cartografiados de esa manera todos y cada uno de los rincones del planeta, se aplica la tecnología de procesado y visualización de datos para determinar las variaciones que experimentan los distintos tipos de cubierta terrestre de un lugar concreto con el paso del tiempo.

Con el fin de apoyar a los Estados Miembros de las Naciones Unidas en la vigilancia de los cambios que se producen en los distintos tipos de ecosistemas relacionados con el agua, se usan datos espaciales y temporales obtenidos por satélites para cuantificar las variaciones de las zonas de agua permanente, agua estacional, embalses, humedales y manglares, y se generan datos sobre el estado trófico y la turbidez de las principales masas de agua. Las imágenes satelitales pueden representarse como datos numéricos, que a su vez se unifican para representar zonas administrativas significativas como fronteras nacionales y subnacionales (por ejemplo, regiones y provincias) y límites de cuencas fluviales. Aún no se han generado productos de datos mundiales sobre ríos y aguas subterráneas que tengan la suficiente

resolución espacial y temporal para que resulte útil incorporarlos a la presente metodología del indicador 6.6.1. De momento, habrá que seguir obteniendo esos datos a partir de modelos o de mediciones terrestres.

En el portal del indicador 6.6.1 (<http://www.sdg661.app>), los países pueden consultar y descargar datos sobre aguas permanentes, aguas estacionales, embalses, humedales y manglares, y sobre la calidad del agua de los lagos. En este sitio web, los usuarios pueden visualizar los datos en mapas geospaciales acompañados de estadísticas numéricas que se exponen en gráficos informativos, y los países pueden acceder a sus estadísticas nacionales y subnacionales en cualquier momento. El PNUMA también enviará periódicamente a los Estados Miembros de las Naciones Unidas sus estadísticas nacionales por conducto de sus respectivos coordinadores nacionales. Si bien la finalidad de los mapas y las estadísticas es apoyar a los Estados Miembros de las Naciones Unidas en la vigilancia y la presentación de informes sobre el indicador 6.6.1, el objetivo general es que los países se sirvan de la información para adoptar decisiones fundadas en datos fehacientes y para aplicar más medidas que protejan y restablezcan los ecosistemas relacionados con el agua. Se alienta a todos los encargados de la adopción de decisiones y profesionales relacionados con esta esfera, por ejemplo, los que trabajan en los sectores del agua, el medio ambiente, el clima, la energía, la agricultura y la silvicultura, a que accedan a esos datos y hagan uso de ellos.

2.4.3. Cuantificación de los ecosistemas relacionados con el agua *a lo largo del tiempo*

El indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible tiene por objeto seguir las tendencias a largo plazo de las variaciones de la extensión de los ecosistemas (es decir, durante varios años) en lugar de las fluctuaciones a corto plazo. Por consiguiente, en el portal de datos sobre el indicador se ofrece información estadística relativa a cada tipo de ecosistema en la que se indica la magnitud de sus variaciones a lo largo del tiempo⁴. Algunos ecosistemas relacionados con el agua (lagos, ríos y humedales) pueden ser numerosos y abarcar zonas extensas, lo que dificulta el acceso a su totalidad. Es posible que hagan falta muchos puntos de recogida de datos *in situ* para cuantificar con precisión las variaciones de la cantidad, calidad y extensión del agua a lo largo del tiempo. En este contexto, el uso de fuentes de datos satelitales para efectuar mediciones sobre los ecosistemas relacionados con el agua ofrece ventajas considerables. Las observaciones del agua desde el espacio suelen hacerse mediante imágenes captadas por satélites capaces de cartografiar el mundo entero cada siete días y grabar imágenes con una resolución de entre 10 y 30 metros. Para representar estadísticamente una variación de la extensión de un tipo de ecosistema entre dos períodos de tiempo, lo primero que hace falta es definir el período que va a usarse de referencia para cuantificar el “cambio”.

No todas las series de datos representadas en el portal del indicador 6.6.1 se basan en el mismo período de referencia. Ello se debe a que las observaciones disponibles proceden de distintos satélites. Algunos de ellos, como los Landsat de la NASA, orbitan alrededor de la Tierra desde principios de la década

⁴ Salvo en el caso de los humedales continentales en la actualidad (2020), sobre los cuales se ofrece una serie de datos de referencia (2017-2019) pero aún no se dispone de estadísticas de las variaciones. El primer año sobre el que se suministrarán datos que muestren un cambio con respecto a la base de referencia será el 2020, y para ello habrá que esperar hasta 2021.

de 1970. Estos satélites han permitido cuantificar las variaciones que se han sucedido desde entonces en la extensión de los cuerpos de agua dulce abiertos (es decir, los lagos), si bien las primeras imágenes eran de menor calidad, con lo cual esos resultados inspiran menos confianza. En fechas más recientes se han puesto en órbita otros satélites, como, por ejemplo, los satélites Sentinel de la Agencia Espacial Europea y varios satélites japoneses, que permiten la captación de imágenes y datos relativos a otros parámetros y ecosistemas relacionados con el agua (por ejemplo, manglares, humedales y calidad del agua). Los períodos usados como referencia para los distintos tipos de ecosistemas comprendidos en el indicador 6.6.1 dependen de la fecha en que los satélites comenzaron a captar información.

2.4.4. Datos de los indicadores a escala nacional y subnacional

Además de información sobre las variaciones producidas a lo largo del tiempo, se dispone de series de datos sobre diversos tipos de ecosistemas relacionados con el agua en distintas escalas espaciales, en concreto escalas nacionales y subnacionales y de cuencas fluviales. Para representar las estadísticas nacionales se utiliza la base de datos GAUL, siglas inglesas de “[Global Administrative Unit Layers \(GAUL\)](#)” (Estratos de unidades administrativas mundiales). Ideada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la finalidad de GAUL es recopilar y difundir la información espacial más fiable sobre las unidades administrativas de todos los países del mundo.

Además de GAUL, los datos del portal del indicador 6.6.1 se presentan a escala de cuenca por medio del mapa [Hydro-BASINS](#). Confeccionado en nombre de la sección estadounidense del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), este mapa representa los límites de todas las cuencas hidrográficas mundiales a escala de cuenca y subcuenca.

Con la inclusión de estadísticas subnacionales en el portal de datos del indicador 6.6.1 se pretende facilitar el proceso de adopción de decisiones a nivel subnacional sobre los ecosistemas relacionados con el agua. Dado que la adopción de decisiones sobre una masa de agua concreta (por ejemplo, un lago) suele ser competencia de las autoridades subnacionales, se suministran datos a estos niveles para alentar la adopción a nivel nacional y subnacional de decisiones que protejan y restablezcan los ecosistemas relacionados con el agua. A efectos de la presentación de informes a nivel mundial, es importante señalar que lo que se comunica son estadísticas nacionales por tipo de ecosistema.

Otra ventaja del uso de HydroBASINS para reunir datos sobre el indicador 6.6.1 es que el mapa permite operar a nivel regional y nivel transfronterizo. Los acuíferos y las cuencas lacustres y fluviales compartidos por dos o más países representan cerca del 60 % del flujo mundial de agua dulce y albergan a más del 40 % de la población mundial, porcentajes que ponen de relieve la importancia de la colaboración entre los Estados ribereños para alcanzar la meta 6.6.

2.5. ¿Cómo se relaciona el indicador con el objetivo?

El indicador 6.6.1 es el único indicador que cuantifica los avances logrados en pos de la meta 6.6. En su formulación actual, la meta 6.6 reza así: “De aquí a 2020, proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos”. La fecha de 2020 se insertó para armonizar el programa de los Objetivos de Desarrollo Sostenible con los compromisos anteriores del Convenio sobre la Diversidad Biológica, en particular las metas de Aichi, que forman parte del Plan Estratégico para la Diversidad Biológica 2011-2020 (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2010). El texto de la meta se modificará en 2020 para actualizar la fecha, que se sustituirá por la de 2030 para ajustarla al marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El término “proteger”, en el contexto de esta meta, se refiere a la protección de los ecosistemas para que sigan prestando sus valiosos servicios a la sociedad, particularmente los servicios sostenibles de agua y saneamiento (Dickens y otros, 2017). El valor de los ecosistemas en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible viene determinado en gran medida por los servicios que prestan a la sociedad humana. En consecuencia, los encargados de formular políticas y adoptar decisiones que aspiren a preservar los servicios prestados por los lagos, los ríos, los humedales y las aguas subterráneas a las personas necesitan datos para conocer el estado funcional de esos ecosistemas y dilucidar si este estado varía a lo largo del tiempo. Para obtener esta información hace falta seguir de cerca las variaciones de la cantidad de agua (cuantificadas a partir de las alteraciones de la extensión y el volumen) o de su calidad. El indicador no cuantifica, por ejemplo, la medida en que un ecosistema está protegido por sistemas de designación de protección nacionales o internacionales, sino que documenta las variaciones de los parámetros físicos y químicos que describen los ecosistemas relacionados con el agua para que los encargados de adoptar decisiones puedan gestionar el estado de protección de esos ecosistemas. Por tanto, el indicador está concebido para captar información física y biológica por área espacial y medir la cantidad y calidad del agua de este tipo de ecosistemas.

En su configuración actual, la metodología de vigilancia de los indicadores no capta datos sobre la salud biológica de los ecosistemas de agua dulce, si bien se reconoce la importancia de esa información. El motivo es que el seguimiento de la salud de los ecosistemas depende del contexto en cuestión: los métodos más adecuados se basan en las condiciones ecológicas del lugar y tienen en cuenta la diversidad biológica local. No obstante, se recomienda encarecidamente a los países que vigilen la salud de sus ecosistemas si tienen capacidad para ello. Los países pueden tratar de aprovechar los datos generados para cada subindicador, que pueden combinarse con los datos nacionales obtenidos *in situ*, como los bioindicadores, para informar sobre el estado de la salud de los ecosistemas relacionados con el agua. Con estos datos complementarios se contribuirá a fundamentar mejor las decisiones que se adopten para proteger y restablecer esos ecosistemas.

2.6. Evaluación de las tendencias de los datos de los subindicadores

La obtención de datos sobre los distintos tipos de ecosistema por separado permite adoptar decisiones atinadas para cada uno de ellos. Además, si se evalúa y compara el conjunto de variaciones registradas

en diversos tipos de ecosistemas, podrán adoptarse decisiones dirigidas a proteger y restablecer varios ecosistemas de una misma zona. Por ejemplo, los datos de una cuenca fluvial determinada pueden revelar que las masas de agua naturales (es decir, los lagos) están menguando y, por el contrario, las artificiales (es decir, los embalses) van en aumento. Los encargados de la adopción de decisiones, cuando disponen de varios conjuntos de datos interrelacionados de una misma cuenca hidrográfica, pueden discernir mejor las causas y los efectos de las variaciones de la extensión del ecosistema. Si se evalúan las tendencias de todos los datos de los subindicadores, se podrá articular una descripción más completa y propiciar decisiones de política y planificación que fomenten la salud de los ecosistemas o su capacidad de conservar su estructura y función a lo largo del tiempo frente a las presiones externas.

2.7. El papel de los coordinadores nacionales de los indicadores

Los coordinadores nacionales de los indicadores desempeñan un papel fundamental en los procesos de flujo de datos por cuanto son el único canal por el que los organismos custodios hacen participar a los Estados Miembros en el seguimiento de los indicadores y la presentación de informes al respecto. La designación de un solo coordinador por país facilita el intercambio fluido de comunicaciones, la reunión de datos, la validación y la presentación de informes, como también la difusión de material de capacitación y creación de capacidad. En el caso del indicador 6.6.1, ese coordinador nacional (también denominado coordinador técnico) puede ser un funcionario gubernamental designado por una institución estatal competente, por ejemplo, un ministerio o departamento encargado de la gestión del agua o las estadísticas ambientales nacionales. A más largo plazo, los coordinadores nacionales pueden promover la titularidad nacional de los datos sobre el indicador y su incorporación en los procesos de política y planificación nacionales y subnacionales relativos a la protección y la gestión de los ecosistemas relacionados con el agua.

2.8. Un enfoque de seguimiento progresivo

La Agenda 2030 es un proceso dirigido y controlado por los países. En virtud de este enfoque, que es el aplicado por la presente metodología, incumbe a los países la responsabilidad de supervisar y comunicar los datos sobre todos los indicadores de los Objetivos de Desarrollo del Milenio. Todos los datos mundiales deben ser objeto de titularidad nacional y aprobados por los países para cumplir con el propósito de la Agenda 2030. Sin dejar de reconocer las lagunas a nivel nacional de datos mundiales sobre los ecosistemas relacionados con el agua, esta metodología utiliza información disponible a nivel mundial para complementar las mediciones terrestres. La ventaja inmediata de este enfoque es que se subsanan las lagunas de datos mundiales y se propicia un avance más rápido hacia el logro de la meta 6.6. Esta estrategia también se ha adoptado para otras metodologías, como la correspondiente al indicador 15.3.1.

Esta metodología aplica un enfoque de seguimiento progresivo, lo que significa que los países pueden aprovechar la disponibilidad de productos de datos mundiales sobre los ecosistemas relacionados con el agua y al mismo tiempo (en caso de contar con la información y capacidad necesarias) utilizar los datos obtenidos a nivel nacional para complementar y aumentar la presentación de informes sobre el indicador 6.6.1 a partir de un nivel básico. Por tanto, este enfoque promueve aspiraciones de diverso

grado. El enfoque de seguimiento progresivo es ventajoso porque al dar prioridad a los componentes del indicador en los casos en que se dispone de muchos datos de gran calidad, alivia la carga de trabajo de los países en materia de presentación de informes y centra la labor de seguimiento en la aprobación de los datos ya obtenidos y la generación de un volumen limitado de datos nuevos. Esta labor de seguimiento orientada a fines concretos se reforzará con más iniciativas de creación de capacidad, avances tecnológicos y el aumento del intercambio de datos entre la comunidad internacional.

El enfoque de vigilancia progresiva se enmarca en dos niveles de aspiración. Todos los países se benefician, como mínimo, de un nivel básico de datos (nivel 1) que se obtiene utilizando datos disponibles a nivel mundial, exactos y actualizados periódicamente, procedentes de fuentes satelitales. Estos datos, que cualquiera puede consultar y descargar en el portal del indicador 6.6.1, permiten a los países evaluar las variaciones de la extensión de los cuerpos de agua permanentes y estacionales de origen natural (lagos y ríos), de las masas de agua artificiales (embalses) y de los humedales y los manglares, y también las alteraciones del estado trófico y la turbidez de las masas de agua de mayor entidad. Los países que dispongan de la capacidad y los datos necesarios deben esforzarse por aumentar esta base de datos fundamentales con información generada a nivel nacional (nivel 2) sobre caudales de los ríos y volúmenes de aguas subterráneas. En el siguiente cuadro se resume el desglose de los datos fundamentales de nivel 1 derivados de observaciones de la Tierra y de los datos de nivel 2 obtenidos a nivel nacional.

Nivel 1: Datos derivados de observaciones de la Tierra		
<i>Ecosistema</i>	<i>Unidad</i>	<i>Características</i>
Lagos y ríos	Extensión	Variaciones anuales y multianuales de la extensión de las aguas permanentes (1984 hasta hoy) Estadísticas de aumento y pérdida de aguas permanentes (2000-2019) Estadísticas agregadas a escala nacional, subnacional y de cuenca
Lagos y ríos	Extensión	Variaciones anuales y multianuales de la extensión de las aguas estacionales (1984 hasta hoy) Estadísticas de aumento y pérdida de aguas estacionales (2000-2019) Estadísticas de estacionalidad anual en períodos de 0 a 1, 3 a 6, y 7 a 11 meses Estadísticas agregadas a escala nacional, subnacional y de cuenca
Embalses	Extensión	Variaciones anuales y multianuales de la extensión de los embalses (1984 hasta hoy) Estadísticas de aumento y disminución de la extensión de los embalses (2000-2019) Estadísticas agregadas a escala nacional, subnacional y de cuenca
Manglares	Extensión	Variaciones anuales y multianuales de la extensión de los manglares (2000-2016) Estadísticas agregadas a escala nacional, subnacional y de cuenca
Humedales	Extensión	Zona de humedales (extensión de referencia definida por datos del período 2016-2018) Estadísticas agregadas a escala nacional, subnacional y de cuenca

Nivel 1: Datos derivados de observaciones de la Tierra		
<i>Ecosistema</i>	<i>Unidad</i>	<i>Características</i>
		Las variaciones de extensión de los humedales se incluirán a partir de 2021-2022
Lagos	Calidad del agua	Mediciones mensuales, anuales y multianuales del estado trófico y la turbidez de 4.200 lagos en todo el mundo (con una resolución de 300 metros)
Nivel 2: Datos derivados de mediciones y modelos terrestres		
<i>Ecosistema</i>	<i>Unidad</i>	<i>Características</i>
Ríos	Caudal	Modelización de la escorrentía y el caudal naturales Cuantificaciones <i>in situ</i> del caudal, agregadas a lo largo del tiempo, de todos los ríos principales
Aguas subterráneas	Nivel	Variaciones del volumen, a lo largo del tiempo, de los principales acuíferos subterráneos

Tabla 1: Datos extraídos de mediciones satelitales y terrestres

Algunos grupos intergubernamentales de expertos como el Grupo de Observaciones de la Tierra (GEO) y el Grupo de Gestión Mundial de la Información Geoespacial (GGIM), compuestos por Estados Miembros de las Naciones Unidas y asociados a las Oficinas Nacionales de Estadística (ONE) y organismos internacionales, han influido en la concepción de esta metodología en lo que hace a la forma de generar los datos, sus fuentes y su resolución espacial y temporal. Todos los datos están sujetos a la aprobación de las autoridades nacionales. Los países tal vez deseen aportar sus propios datos de observación satelital de la Tierra para generar datos de mayor resolución. Esta información puede usarse para la presentación de informes oficiales sobre los indicadores de Objetivos de Desarrollo Sostenible si en el proceso de producción de datos se adopta el mismo sistema de confección de estadísticas nacionales que se ha empleado en la metodología que nos ocupa y que se explica en las hojas de metadatos, incluida la categorización de los tipos de ecosistemas relacionados con el agua y de los períodos de referencia de los datos, para poder compararlos entre países y garantizar el rigor estadístico.

3 METODOLOGÍA DE SEGUIMIENTO

Datos del nivel 1

En la presente sección se resumen los distintos métodos que se aplican para producir cada uno de los conjuntos de datos mundiales sobre subindicadores que figuran en el portal del indicador 6.6.1. En este sitio web se ofrecen más especificaciones técnicas sobre el particular. En las subsecciones siguientes también se facilitan enlaces a publicaciones técnicas de interés.

Se han elaborado dos conjuntos de datos distintos sobre aguas de superficie, uno sobre aguas naturales y otro sobre aguas artificiales (es decir, embalses). Se ha distinguido entre los dos tipos para describir con mayor precisión las variaciones de las aguas de superficie naturales. En las secciones 3.1. y 3.2 se expone a grandes rasgos la metodología empleada para las aguas de superficie naturales y para las artificiales, respectivamente.

3.1. Cuantificación de las variaciones de la extensión de ríos y lagos

3.1.1. ¿Por qué medir la extensión de las aguas de superficie?

Toda el agua dulce de nuestros lagos, ríos, humedales y aguas subterráneas representa menos del 0,01 % del total del agua de la Tierra (un 96,5 % de este total corresponde a mares y océanos, y el resto se encuentra en los casquetes polares, los glaciares, el hielo y la nieve, el agua subterránea, el suelo, las células biológicas, incluidas las del ser humano, y la atmósfera). Las aguas de superficie son las más accesibles e inciden en muchos aspectos de nuestra existencia; entre otras cosas, afectan al intercambio de calor, gas y vapor de agua entre la superficie del planeta y la atmósfera. El agua es el motor que impulsa la distribución, movimiento y migración de la vida vegetal y animal de la Tierra, y resulta igualmente indispensable para los seres humanos. Determina nuestra capacidad de cultivar y gestionar las tierras de pastoreo, llevar adelante los procesos industriales y fabricar bienes; influye en el movimiento de los vectores de enfermedades, toxinas y contaminantes; genera energía de forma directa (hidroeléctrica) e indirecta (termoeléctrica); es un elemento fundamental de nuestra red de transporte, y forma parte de nuestro mundo recreativo, cultural y deportivo.

3.1.2. Descripción del método empleado para cartografiar todas las aguas de superficie del mundo

Se han generado datos sobre la dinámica espacial y temporal de las aguas de superficie naturales de todo el planeta. El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea ha elaborado un conjunto de datos sobre las aguas de superficie mundiales (Pekel y otros, 2016) que documenta distintas facetas de la dinámica del agua a largo plazo (desde 1984 en adelante) con una resolución de 30 × 30 metros por píxel y registra la extensión permanente y estacional de las aguas de superficie. En concreto, se han

cartografiado todas las aguas superficiales naturales de más de 30 × 30 metros de extensión. Dada la resolución de la cuadrícula resultante, las imágenes satelitales captan sobre todo la extensión de lagos y de ríos anchos. Los datos abarcan también las zonas terrestres que se inundan temporalmente, como los humedales y los arrozales, pero no los ríos y cuerpos de agua más pequeños, ya que son demasiado estrechos para ser detectados o bien están ocultos bajo el dosel arboreo. Los datos incluyen imágenes individuales de máxima resolución captadas por los satélites Landsat 5, 7 y 8 y Sentinel 1, y difundidas públicamente por el Servicio de Prospección Geológica de los Estados Unidos y el Programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea (Copérnico). En conjunto, proporcionan imágenes multispectrales con una resolución de 30 x 30 metros en seis canales de infrarrojos visibles, cercanos y de onda corta, además de imágenes térmicas con una resolución de 60 x 60 metros.

Los datos incluyen las superficies terrestres que permanecen los doce meses del año cubiertas de agua (por ejemplo, las zonas de aguas permanentes) y dan cuenta también de las fluctuaciones estacionales y climáticas del agua, lo que significa que comprenden los lagos y ríos que se congelan durante una parte del año. No se incluyen las zonas de hielo permanente, como los glaciares y los casquetes polares, ni las zonas terrestres cubiertas de nieve perpetua. En algunas zonas, la nubosidad constante impide la observación de las superficies acuáticas, por lo que es posible que no se disponga de imágenes de estos lugares. Se ha aplicado una “máscara costera” a los datos de todo el mundo para excluir el agua del océano de las estadísticas de agua dulce. El método empleado para aplicar esa máscara se explica en el *Journal of Operational Oceanography*, disponible [aquí](#) (Sayer y otros, 2019).

El mapa mundial de aguas de superficie debe su precisión al uso de más de 40.000 puntos de control de todo el mundo durante 36 años. Todo el método de validación y sus resultados se han publicado en la revista científica *Nature*, disponible [aquí](#) (Pekel y otros, 2016). Según esos resultados, los porcentajes de detecciones erróneas y de superficies acuáticas no detectadas por el sistema experto de detección de agua no llegan al 1 % y al 5 %, respectivamente. Los mapas suministrados se han levantado a partir del análisis de más de cuatro millones de imágenes captadas a lo largo de 36 años y procesadas una por una mediante un preciso sistema experto de clasificación.

En el portal de datos del indicador 6.6.1 se documentan varias transiciones relativas a aguas de superficie permanentes y estacionales, esto es, variaciones del estado del agua entre dos referencias temporales (por ejemplo, 2000 y 2019). Se dispone de datos sobre varias transiciones, como la aparición de nuevas superficies acuáticas permanentes (es decir, la conversión de un lugar sin agua en un lugar de agua permanente), la pérdida de superficies acuáticas permanentes (es decir, la conversión de un lugar de agua permanente en un lugar sin agua) y la aparición y desaparición de aguas estacionales. De ese modo puede obtenerse información mensual sobre la presencia o ausencia de agua y determinar los meses y años concretos en que cambiaron las condiciones, por ejemplo, la fecha en que se llenó un embalse nuevo o el mes o año en que desapareció un lago. Además, se ofrecen datos sobre estacionalidad que reflejan las variaciones resultantes de la variabilidad intraanual e interanual o de la aparición o desaparición de superficies acuáticas estacionales o permanentes. Los datos distinguen entre los cuerpos de agua “permanentes” (o sea, los que están presentes durante todo el período de observación, en principio un año) y los “estacionales” (los que solo están presentes una parte del año).

3.1.3. Cálculo de las variaciones de la extensión de las aguas de superficie permanentes y estacionales

Se dispone de datos sobre la dinámica de las aguas de superficie durante un período de 36 años, desde 1984 hasta hoy. Cada año se generan datos nuevos que se añaden a esa serie temporal. En la elaboración de estadísticas nacionales para el seguimiento del indicador 6.6.1 se han utilizado todos los datos anuales disponibles desde el año 2000 hasta la fecha.

Lo primero que hay que hacer para calcular la variación porcentual de la extensión de lagos y ríos a partir de los datos del período 2000-2019 es definir un período de referencia. En la presente metodología se toma como período de referencia el quinquenio 2000-2004. Después, promediando todas las observaciones anuales de la Tierra efectuadas durante cinco años, se compara el período de referencia con el lustro siguiente, que será el período objeto del cálculo. A partir del período de referencia, se calcula la variación porcentual del período objeto del cálculo mediante la siguiente fórmula:

Sea β el promedio de la extensión nacional de 2000 a 2004

Sea γ el promedio de la extensión nacional de cualquier quinquenio posterior

Variación porcentual de la extensión = $((\beta-\gamma))/\beta \times 100$

Esta fórmula, por su naturaleza, arroja valores de variación porcentual positivos o negativos, lo que ayuda a captar el sentido en que está cambiando la extensión. En el portal de datos del indicador, las estadísticas se presentan con símbolos positivos y negativos; los primeros indican un aumento de la extensión; los segundos representan una pérdida.

Los términos “positivo” y “negativo” no implican que el estado del ecosistema objeto de seguimiento sea bueno o malo. La ganancia o la pérdida de extensión de las aguas de superficie puede ser beneficiosa o perjudicial; para determinarlo es preciso tener en cuenta el contexto local. La estadística de la variación porcentual expresa la forma en que la extensión total de los lagos y ríos de una unidad territorial determinada (por ejemplo, un país) cambia con el tiempo. Las estadísticas de variación porcentual agregadas a escala nacional deben interpretarse con cierto grado de precaución porque reflejan la extensión de todos los lagos y ríos situados dentro de los límites de un país. Por esta razón, también se facilitan estadísticas subnacionales a escala de cuencas y de subcuencas. Las estadísticas producidas a estas escalas más reducidas reflejan las variaciones de la extensión de un número menor de lagos y ríos dentro de una cuenca o subcuenca, lo que permite adoptar decisiones adaptadas a las características de cada masa de agua.

3.2. Cuantificación de las variaciones de la extensión de los embalses

3.2.1. ¿Por qué medir la extensión de los embalses?

A diferencia de los lagos, cuyo origen es natural, los embalses son masas de agua dulce artificiales. Su inclusión en la metodología del indicador 6.6.1 como un tipo de ecosistema relacionado con el agua obedece a dos motivos. En primer lugar, la contribución que hacen al prestar servicios relacionados con el agua a un gran número de personas, como el abastecimiento para uso doméstico, la irrigación, la generación de energía hidroeléctrica, el control de inundaciones y la recreación. En segundo lugar, porque es útil diferenciar entre las aguas de superficie naturales y las embalsadas para que las variaciones registradas en un conjunto de datos no oculten las registradas en otro. Por consiguiente, se ha preparado un conjunto de datos dedicado en exclusiva a la dinámica de los embalses. En el contexto de la meta 6.6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, cuyo objeto es proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, es importante subrayar que, según una opinión muy extendida, los embalses, pese a prestar valiosos servicios relacionados con el agua a las personas, afectan a la conectividad de los sistemas de agua dulce naturales y son causa directa de una pérdida considerable de biodiversidad en esos sistemas.

3.2.2. Descripción del método empleado para cartografiar las variaciones de la extensión de las aguas embalsadas de todo el mundo

El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea ha elaborado un conjunto de datos sobre la dinámica de los embalses mundiales que documenta las fluctuaciones a largo plazo (desde 1984 en adelante) de la extensión de 8.869 embalses con una resolución de 30×30 metros por píxel. El conjunto de datos sobre embalses recoge información relativa a la extensión de masas de agua artificiales, lo que incluye embalses formados por presas, zonas inundadas como minas y canteras a cielo abierto, y masas de agua creadas por proyectos de hidroingeniería como la construcción de vías de navegación y puertos. El mapa siguiente muestra los embalses en su extensión máxima. El conjunto de datos irá complementándose paulatinamente y se actualizará de forma continua para incluir los embalses de nueva construcción.



Figura 1 Mapa de todos los embalses del mundo

Cada embalse se documenta por separado y se le asigna una identificación exclusiva. Por ejemplo, en la figura 2 se muestra un embalse de Cerdeña (Italia) sobre un fondo compuesto por imágenes de color verdadero y sin nubes captadas por el satélite Sentinel-2.

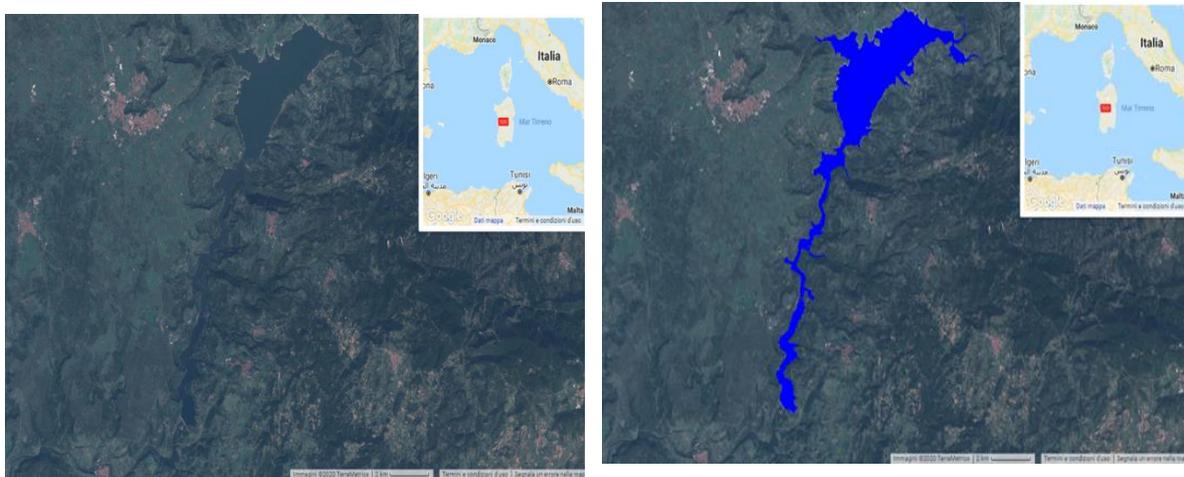


Figura 2 Visualización de un embalse de Cerdeña (Italia) (imagen izquierda); extensión máxima de agua del mismo embalse indicada con una máscara azul (imagen derecha)

El conjunto de datos sobre embalses se ha elaborado aplicando al conjunto de datos del Global Surface Water Explorer un sistema experto de clasificación concebido para separar las masas de agua naturales de las artificiales. Este sistema de clasificación, que sigue un método no paramétrico a fin de tener en cuenta la incertidumbre de los datos, se vale de conocimientos especializados en materia de interpretación de imágenes y utiliza varias fuentes de datos. El sistema experto está concebido para delimitar masas de agua naturales y artificiales por medio de un enfoque basado en datos fehacientes,

la posición geográfica y las fluctuaciones temporales de cada píxel. El sistema extrae información de las siguientes fuentes:

Global Surface Water Explorer (Pekel y otros, 2016). Este conjunto de datos representa cartográficamente la ubicación y la distribución temporal a largo plazo (desde 1984 en adelante) de las superficies acuáticas de todo el mundo. Los mapas resultantes muestran distintas facetas de la dinámica de las aguas de superficie y documentan su ubicación y el momento en que se hallaban presentes en la superficie del planeta. Comprenden masas de agua naturales (ríos, lagos, franjas costeras y humedales) y artificiales (embalses formados por presas, zonas inundadas tales como minas y canteras a cielo abierto, zonas irrigadas y cuerpos de agua creados por proyectos de hidroingeniería como la construcción de vías de navegación y puertos). Es posible consultar toda la historia de cualquier masa de agua en la escala de píxeles usando el perfil temporal. Estos perfiles permiten buscar los meses y años concretos en que variaron las condiciones, por ejemplo, la fecha en que se construyó un embalse, o el mes o año en que se secó un lago. El conjunto de datos del Global Surface Water Explorer se actualiza continuamente para posibilitar un seguimiento constante de todas las masas de agua a cielo abierto del mundo.

Base de datos mundial de presas y embalses (Lehner y otros, 2011). La Base de datos mundial de presas y embalses 1.3 es el fruto de una iniciativa internacional destinada a recopilar todos los datos disponibles sobre presas y embalses para brindar a la comunidad científica una sola base de datos fiables e inequívocos de localización geográfica. En la versión inicial (v1.1) de la base de datos hay 6.862 embalses registrados. En la última versión (v1.3) se han añadido 458 embalses y presas asociadas, por lo que el total de registros asciende a 7320.

Modelo digital de superficies “ALOS World 3D - 30m”. Se trata del conjunto de datos de un modelo digital de toda la superficie terráquea. Dotada de una resolución horizontal de unos 30 metros (celdas de 1 segundo de arco), esta representación cartográfica se basa en el conjunto de datos del modelo digital de superficies (celdas de 5 metros) del World 3D Topographic Data. Para más detalles, consúltese la documentación del conjunto de datos ([aquí](#)).

Datos digitales de elevación (Farr y otros 2004). La Misión Topográfica Radar Shuttle (véase Farr y otros, 2007) es un conjunto de datos digitales de elevación con una resolución de 30 metros proporcionados por el Laboratorio de Propulsión a Reacción de la NASA a una resolución de 1 segundo de arco.

3.2.3. Limitaciones conocidas y margen de mejora

Es posible que en la versión actual del conjunto de datos de la Dinámica de los Embalses Mundiales falte lo siguiente:

- Algunos embalses construidos antes de 1984;
- Los embalses de menos de tres hectáreas (30.000 metros cuadrados);
- Brazos de embalses de menos de 30 metros de anchura.

3.2.4. Cálculo de las variaciones de la extensión de los embalses con el paso del tiempo

Se dispone de datos sobre la dinámica de la extensión de los embalses durante un período de 36 años, desde 1984 hasta hoy. Cada año se generan datos nuevos que se añaden a esa serie temporal. En la elaboración de estadísticas nacionales para el seguimiento del indicador 6.6.1 se han utilizado todos los datos anuales disponibles desde el año 2000 hasta la fecha.

Lo primero que hay que hacer para calcular la variación porcentual de la extensión de los embalses a partir de los datos del período 2000-2019 es definir un período de referencia. En esta metodología se toma como período de referencia el quinquenio 2000-2004. Después, promediando todas las observaciones anuales de la Tierra efectuadas durante cinco años, se compara el período de referencia con el lustro siguiente, esto es, 2015-2019. A partir del período de referencia, se calcula la variación porcentual del período objeto del cálculo mediante la fórmula siguiente:

Sea β el promedio de la extensión nacional de 2000 a 2004

Sea γ el promedio de la extensión nacional de cualquier quinquenio posterior

Variación porcentual de la extensión = $((\beta-\gamma))/\beta \times 100$

3.3. Medición de la extensión de los humedales

3.3.1. ¿Por qué medir la extensión de los humedales?

Más de 1.000 millones de personas dependen por completo de los servicios que prestan los humedales, categoría que engloba pantanos, ciénagas, tremedales, turberas, marjales y arrozales. Los humedales naturales sanos y funcionales están ligados intrínsecamente a los medios de vida, el bienestar y el desarrollo sostenible de los seres humanos. Sin embargo, sobre estos ecosistemas se ciernen graves amenazas como consecuencia de la conversión por motivos de desarrollo comercial y agrícola, la pesca excesiva, el turismo, la contaminación y el cambio climático. Es necesario reforzar y potenciar con urgencia las políticas y los marcos jurídicos nacionales para ayudar a los países a proteger y restablecer los humedales más valiosos. Hasta ahora, sin embargo, las iniciativas emprendidas en ese sentido han tropezado con la falta de datos sobre ubicación, tipología y tamaño de los humedales. Esta información es fundamental para valorar la eficacia de los mecanismos normativos, jurídicos y reglamentarios, y resulta indispensable para seguir de cerca los progresos realizados en la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Pese a la importancia de los humedales, ni su extensión ni su dinámica están bien definidas ni caracterizadas, a diferencia de las de otros ecosistemas vitales (como los bosques, los manglares y las masas de agua interiores), ni se han construido modelos adecuados para estudiarlas.

3.3.2. Descripción del método empleado para cartografiar todos los humedales del globo

Los humedales continentales con vegetación se cartografían con arreglo a la siguiente definición: “Son humedales continentales con vegetación los pantanos, turberas, marjales, tremedales y ciénagas, las partes cubiertas de vegetación de las llanuras inundables, y los arrozales y las tierras agrícolas de

aluvión”. Este subindicador solo mide los humedales continentales con vegetación, no los manglares costeros (véase la sección 3.5 de esta metodología, relativa a los manglares). La presente metodología de los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible se emplea para la presentación oficial de las estadísticas del indicador 6.6.1⁵.



Figura 3. Mapa de la extensión de los humedales de Uganda

Se ha construido una representación cartográfica geoespacial de alta resolución de todos los humedales continentales con vegetación del globo en la que se detalla la extensión de estos ecosistemas por país. Su finalidad es ayudar a los países a hacer un seguimiento de sus humedales y subsanar la falta de datos a nivel mundial. El método de producción de datos se sirve de un mecanismo de seguimiento constante de los humedales basado en datos de observación satelital de la Tierra. El mapa resultante abarca toda la superficie terrestre del planeta, excepto la Antártida y algunas islas pequeñas.

Dado que los humedales tienden a sufrir grandes variaciones de un año para otro, se han recogido datos plurianuales para nivelar los posibles sesgos anuales y estimar con fiabilidad la extensión de estos ecosistemas. Se han reunido datos de 2016, 2017 y 2018 y se han combinado para obtener una medición de la extensión de los humedales (en km²) que sirva de base de referencia. Las futuras actualizaciones anuales permitirán generar estadísticas de las variaciones de los humedales que se recogerán en el sitio web del indicador 6.6.1. La predicción de la extensión de los humedales a partir de los datos de observación satelital del globo terráqueo se basa en cuatro componentes: estratificación, datos de capacitación, aprendizaje automático y postratamiento. En este enfoque se usan todos los datos disponibles de los satélites Sentinel-1, Sentinel-2, y Landsat 8 para predecir la extensión. Después se aplica un modelo digital de elevaciones para calificar las predicciones relativas a los humedales y una

⁵ No se aplica la definición utilizada por la Convención de Ramsar sobre los Humedales, tan genérica que cabe interpretarla de forma que englobe todas las aguas de un país, incluidas las marinas. La definición del indicador 6.6.1 se refiere únicamente a un grupo específico de tipos de humedales continentales con vegetación. Los países pueden usar con provechos los datos sobre la extensión de los humedales que constan en los informes presentados a la Convención de Ramsar.

rutina de postratamiento para convertir el mapa de probabilidades en un mapa de extensión de los humedales.

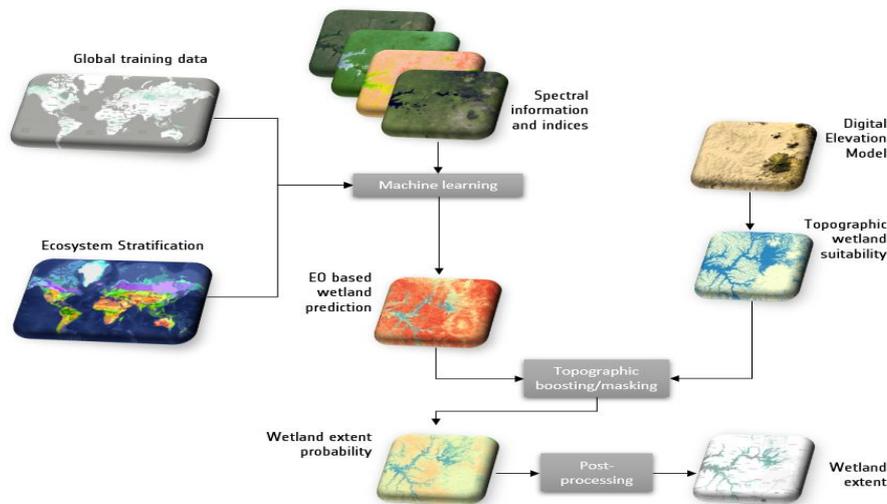


Figura 4. Flujo de trabajo para la representación cartográfica de la extensión de los humedales mundiales

Además, se utiliza la información topográfica de los modelos digitales de elevaciones basados en imágenes satelitales. Se han analizado cerca de cuatro millones de imágenes satelitales que sumaban 2,8 petabytes de datos con un modelo de aprendizaje automático para determinar si corresponden a humedales o no.

Los usuarios del mapa mundial de humedales han de tener en cuenta que el mapa representa una primera evaluación rápida de la distribución mundial de los humedales con vegetación. La metodología aplicada se ocupa únicamente de los humedales continentales, por lo que las estimaciones resultantes pueden quedarse cortas al lado de algunas estadísticas nacionales que incluyen los parámetros de las aguas de superficie y los humedales costeros y marinos. La precisión de los datos disponibles sobre humedales ronda el 70 %; hoy por hoy no es factible obtener datos con una precisión del 100 %. Las predicciones sobre la evolución de los humedales se basan en un método cartográfico sólido y fiable desde el punto de vista científico, pero las inexactitudes serán inevitables, sea por errores de omisión o de comisión. Un ejemplo notable de error de comisión es la clasificación de las parcelas de agricultura de regadío de alta intensidad como humedales a causa de la semejanza de muchas de las características espectrales inherentes a ambos tipos de terreno (es decir, alta humedad y presencia de vegetación incluso en la estación seca). Los errores de omisión se deberán sobre todo a la gran diversidad de humedales. Se ha hecho todo lo posible por preparar el modelo para la detección de la gama más amplia posible de ecosistemas de esta clase; aun así, habrá tipos de humedales y ejemplos de comportamiento que no se capten bien con un modelo mundial. Por ejemplo, algunos humedales efímeros rara vez se inundan o humedecen, por lo que suelen quedar excluidos de los conjuntos de datos de los satélites. En otros casos, la parte húmeda de un ecosistema de este tipo puede estar oculta bajo un denso dosel arbóreo, circunstancia difícil de evaluar con datos satelitales, ya que no resulta fácil detectar la presencia de agua o humedad. Otros aspectos que deben considerarse en relación con los datos son:

- Solo se aplica una estratificación regional, luego los estratos abarcan varios países. Cuando se use un nivel de estratificación más detallado mejorarán las predicciones sobre los humedales a nivel local y nacional;
- El mapa de humedales ganará en precisión cuando se contraste con más inventarios nacionales de humedales y con la verificación sobre el terreno;
- La información de los modelos digitales de elevaciones basados en imágenes satelitales es una aportación fundamental para cartografiar los humedales a nivel mundial. En la actualidad, los conjuntos de datos de referencia son el modelo digital de elevaciones de 30 metros de la Misión Topográfica Radar Shuttle, que cubre el globo desde los 60° N a los 56° S, y un modelo digital de elevaciones de menor resolución (90 metros), que abarca las latitudes superiores a los 60° N. Hay modelos digitales de elevaciones con una resolución de 30 metros que podrían usarse en latitudes superiores a los 60° N y que deben tenerse en cuenta en futuras actualizaciones;
- Las islas pequeñas, y tal vez incluso algunos Estados insulares, escapan al sistema de captación de imágenes de los satélites Sentinel, por lo que no se han formulado predicciones en materia de humedales respecto de esas zonas. Con el uso de otros datos satelitales (por ejemplo, utilizando únicamente los del Landsat) podrán construirse modelos individuales para esas islas que quedan excluidas de las predicciones.

En las futuras versiones y actualizaciones del mapa de humedales se corregirán esas deficiencias y posiblemente se adopte un modelo de aprendizaje profundo para reflejar con más claridad los aspectos temporales y espaciales de las predicciones sobre los humedales. A pesar de las limitaciones de la metodología, el levantamiento de mapas de alta resolución de los humedales de todo el mundo se vale de la tecnología y la potencia informática más avanzadas del momento y representa un enorme paso hacia la presentación de datos precisos y estadísticas fiables sobre este tipo de ecosistemas.

3.3.3 Cálculo de las variaciones de la extensión de los humedales por país

Aún no se ha calculado ninguna variación de la extensión, pero sí se ha establecido una extensión de referencia por país. Esta metodología aplica una base de referencia del año 2017 (calculada a partir de imágenes de 2016 a 2018 para neutralizar los posibles sesgos anuales). En lo sucesivo, estos datos sobre extensión de los humedales se actualizarán cada año. Una vez hecha la actualización se podrá calcular la variación de la extensión de los humedales a partir del período de referencia. La variación porcentual de la extensión se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Variación porcentual de la extensión de los humedales} = ((\beta - \gamma) / \beta) \times 100$$

Donde β es la extensión de los humedales en el período de referencia
y γ es la extensión en el período sobre el que se informa.

3.4. Cuantificación de las variaciones de la extensión de los manglares

3.4.1. ¿Por qué medir los manglares?

Los manglares son ecosistemas intermareales boscosos que se dan en todo el globo entre las latitudes 32° N (Bermudas) y 39° S (Victoria (Australia)), aproximadamente. Los manglares desempeñan funciones primordiales a nivel de paisaje relacionadas con la regulación de la afluencia de agua dulce, nutrientes y sedimentos a las zonas marinas. Asimismo, contribuyen a controlar la calidad de las aguas costeras marinas y son lugares de vital importancia para la reproducción y cría de aves, peces y crustáceos. Se ha estimado que casi dos tercios de los peces marinos que se capturan en el mundo dependen en última instancia de la salud de los ecosistemas costeros tropicales. Además, los manglares reciben grandes cantidades de materia y energía de la tierra y del mar y constituyen importantes depósitos de almacenamiento de carbono (Lucas y otros, 2014).

En su día abundantes en las costas tropicales y subtropicales del planeta, los manglares disminuyen a un ritmo similar al de los bosques terrestres (naturales) y en los dos últimos decenios han perdido entre el 4 % y el 5 % de su superficie mundial (Convención de Ramsar, 2018; FAO, 2015). Entre los principales factores de esta merma destacan la eliminación con fines acuícolas, la agricultura, la explotación energética y otros procesos industriales. Una proporción desconocida de los manglares restantes sufren fragmentación y degradación (Thomas y otros, 2017). Los manglares también son sensibles a ciertos efectos del cambio climático, como el aumento del nivel del mar, las temperaturas extremas, la distribución geográfica y las alteraciones en la hidrología.

La información sobre el estado y las tendencias de cambio de los manglares a nivel nacional y mundial es escasa, en parte porque muchas veces no está claro si los manglares son competencia de las jurisdicciones nacionales encargadas de los humedales o de la silvicultura, y en parte porque suelen ser remotos e inaccesibles, con lo cual su representación cartográfica y su seguimiento periódicos por medios convencionales resultan costosos y requieren mucho tiempo. Los suelos de los manglares contienen más de 6.000 millones de toneladas de carbono y pueden secuestrar hasta tres o cuatro veces más carbono que los suelos terrestres; pero están clasificados como bosques en el programa REDD+ de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático⁶ (UICN, 2017), por lo que deben incluirse en los informes nacionales sobre las emisiones.

3.4.2. Descripción del método empleado para medir la extensión de los manglares

Los mapas mundiales de manglares se levantaron en dos fases. Primero se confeccionó un mapa mundial que muestra la extensión de los manglares en 2010, y después se generaron otras seis capas de datos (correspondientes a 1996, 2007, 2008, 2009, 2015 y 2016). El método utiliza una combinación de datos satelitales ópticos (Landsat-5 y Landsat-7) y de radar (ALOS PALSAR). Se usaron unas 15.000 escenas de Landsat y 1.500 teselas de mosaico de ALOS PALSAR (de 1 x 1 grados) para componer

⁶ Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo, función que desempeñan la conservación, la gestión forestal sostenible y el aumento de las reservas de carbono en los bosques de los países en desarrollo.

imágenes ópticas y de radar de las costas tropicales y subtropicales de América, África, Asia y Oceanía. La clasificación se llevó a cabo aplicando una máscara de hábitat específica para delimitar las regiones en las que cabe prever que haya manglares. La definición de manglar se formuló a partir de parámetros geográficos como la latitud, la elevación y la distancia hasta el mar. La capacitación para la aplicación de la máscara de hábitat y la clasificación de la máscara de manglares de 2010 se basó en un muestreo aleatorio de unos 38 millones de puntos extraídos de mapas de manglares del año 2000 (Giri y otros, 2010; Spalding y otros, 2010), mapas de presencia de agua (Pekel y otros, 2017) y datos del modelo digital de elevaciones (SRTM-30).

Los mapas de los otros seis años se generaron mediante la detección y clasificación de las pérdidas (definidas como una disminución de intensidad de la retrodispersión del radar) y los incrementos de extensión de los manglares (definidas como un aumento de la retrodispersión) que se apreciaban al comparar los datos de ALOS PALSAR de 2010 con los datos de JERS-1 SAR (1996), ALOS PALSAR (2007, 2008 y 2009) y ALOS-2 PALSAR-2 (2015 y 2016). A continuación se añadieron o eliminaron, según el caso, los píxeles de cada conjunto de datos anuales que diferían de la máscara rasterizada de referencia de 2010 (aplicando un *buffer* para permitir la detección de los incrementos de superficie que se hubiesen producido en la zona inmediatamente adyacente al contorno de la máscara) a fin de producir los mapas de extensión anuales.

La precisión de la clasificación del conjunto de datos de referencia de 2010 se evaluó con unos 53.800 puntos de muestreo aleatorio extraídos de 20 regiones seleccionadas al azar. La precisión global se estimó en un 95,25 %, mientras que la precisión del usuario (error de comisión) y la precisión del productor (error de omisión) en la clase de los manglares se estimaron en un 97,5 % y un 94,0 %, respectivamente. Se usaron más de 45.000 puntos para evaluar la precisión de la clasificación de las variaciones. La precisión global se cifró en un 75,0 %. La precisión del usuario en las categorías de pérdida, ganancia y ausencia de variación se estimó en un 66,5 %, 73,1 % y 83,5 %, respectivamente. La precisión del productor en esas tres categorías se estimó, respectivamente, en un 87,5 %, 73,0 % y 69,0 %.

Limitaciones de los datos:

- El mapa de los manglares es un conjunto de datos mundiales y, como tal, no cabe esperar que alcance en todas partes un nivel de precisión tan alto como un mapa confeccionado a escala local por levantamiento terrestre o mediante el uso de datos geoespaciales de alta resolución. En general, por razones logísticas, todo mapa mundial de extensión que use datos y métodos homogéneos –aunque complementados con datos obtenidos sobre el terreno para su calibración y validación– se levanta a expensas de la precisión a escala local. No obstante, la escala local (o nacional) de los mapas mundiales puede mejorarse añadiendo información más completa (datos obtenidos *in situ* y datos aéreos o de aviones no tripulados) con fines de capacitación y reclasificación.
- Varios factores de diversa índole pueden incidir en la precisión de la clasificación, entre ellos la disponibilidad de datos satelitales, la composición de las especies de manglares y el nivel de degradación.

- La separación entre píxeles de los datos satelitales que se usaron para el mapa original es de 25 a 30 metros, pero dada la imprecisión de una clasificación basada en un solo píxel, se recomienda utilizar una unidad cartográfica mínima de aproximadamente una hectárea. Los errores de clasificación (en particular los errores de omisión) suelen aumentar en las zonas que presentan perturbaciones y fragmentación, como los estanques de acuicultura, y en los manglares fluviales o de arrecife que forman franjas costeras estrechas de unos pocos píxeles.
- En general, el límite entre los manglares y el mar está definido con más precisión que el límite entre los manglares y la tierra firme, por la imposibilidad de discernir con nitidez entre el manglar y ciertas especies vegetales propias de humedales u otros suelos.
- Algunas zonas presentan artefactos de bandeado como consecuencia de la distorsión generada por las líneas de barrido del Landsat-7, en particular ciertas regiones del África Occidental, a causa de la falta de datos procedentes del Landsat-5 y la nubosidad persistente.
- Esta versión (v2.0) del conjunto de datos presenta las lagunas siguientes: archipiélago de Aldabra (Seychelles); Islas Andamán y Nicobar (India); Bermudas (Reino Unido); archipiélago de Chagos; Isla de Europa (Francia); Fiji (parte situada al este del antimeridiano); Guam y Saipán (Estados Unidos de América); Kiribati; Maldivas; Islas Marshall; Perú (al sur de la latitud 4° S), e Islas Wallis y Futuna (Francia).

Como en el caso de los humedales, la confección de mapas de alta resolución de los manglares de todo el mundo se vale de la tecnología y la potencia informática más avanzadas del momento y representa un enorme paso hacia la presentación de datos precisos y estadísticas fiables sobre ese tipo de ecosistema.

3.4.3 Cálculo de la superficie de manglares por país

Hay datos sobre la superficie de los manglares en 1996, 2007, 2008, 2009, 2010, 2015 y 2016. Los datos de 2017 y 2018 se generarán a lo largo de 2020. Con el fin de producir estadísticas nacionales para el seguimiento del indicador 6.6.1, se ha usado el año 2000 como variable sustitutiva basada en el conjunto de datos anuales de 1996 para armonizar esta base de referencia con la del conjunto de datos sobre aguas de superficie. Como período de referencia para calcular la extensión de los manglares nacionales se usará el año 2000. La extensión anual de los manglares se cuantifica con respecto a ese año de referencia. La variación porcentual de la extensión se calcula mediante la fórmula siguiente:

Sea β la extensión nacional en el año 2000

Sea γ la extensión nacional de cualquier año posterior

Variación porcentual de la extensión = $((\beta - \gamma) / \beta) \times 100$

3.5. Medición de la turbidez y el estado trófico de los lagos

3.5.1. ¿Por qué medir la turbidez y el estado trófico de los lagos?

La turbidez es un indicador fundamental de la claridad del agua que sirve para cuantificar la opacidad del agua y determinar la presencia de luz subacuática. El índice de estado trófico representa el grado de acumulación de materia orgánica en una masa de agua y se usa sobre todo para controlar la eutrofización. En el presente contexto, ambos parámetros pueden utilizarse para inferir el estado o calidad particulares de una masa de agua dulce.

3.5.2. Descripción del método empleado para cartografiar todas las aguas de superficie del mundo

El conjunto de datos mundiales cuantifica dos parámetros del agua lacustre: la turbidez y una estimación del índice de estado trófico. La información fue producida por Copérnico, el programa de Observación de la Tierra de la Unión Europea. En relación con los dos parámetros, el conjunto de datos documenta los promedios mensuales y los promedios plurianuales por mes de los períodos 2006-2010 y 2017-2019. Los mapas correspondientes tienen una resolución de 300 × 300 metros por píxel y captan datos sobre 4265 lagos. Se presenta información identificativa sobre cada uno de esos lagos, lo que permite vincularlos con otros conjuntos de datos hidrológicos. Toda esa información sobre los lagos (nombre, localización y, si se conoce, extensión) puede consultarse en una lista. La turbidez y el índice de estado trófico se deduce, respectivamente, de las estimaciones de concentración de sólidos en suspensión y de la biomasa de fitoplancton, a su vez estimada por aproximación a partir de la clorofila-a.

Clasificación trófica	Índice de estado trófico, cifras del servicio de seguimiento terrestre del Programa Copérnico	Clorofila-a (µg/l) (límite superior)
Oligotrófico	0	0,04
	10	0,12
	20	0,34
	30	0,94
Mesotrófico	40	2,6
	50	6,4
Eutrófico	60	20
	70	56
Hipereutrófico	80	154
	90	427
	100	1 183

Cuadro 2: Índice de estado trófico y concentraciones de clorofila-a correspondientes (según Carlson (1977))

Los productos de los períodos 2006-2010 y 2017-2019 se basan en observaciones del sensor MERIS y de los sensores OLCI, respectivamente. Se emplearon mapas de las zonas de amortiguación terrestres y acuáticas, y mapas de hielo para generar datos más precisos.

En la figura siguiente se ofrece un ejemplo de visualización de los dos parámetros del agua del lago Hurón en el que se muestra el promedio del índice de estado trófico (izquierda) y de la turbidez (derecha) registrados durante diez días.

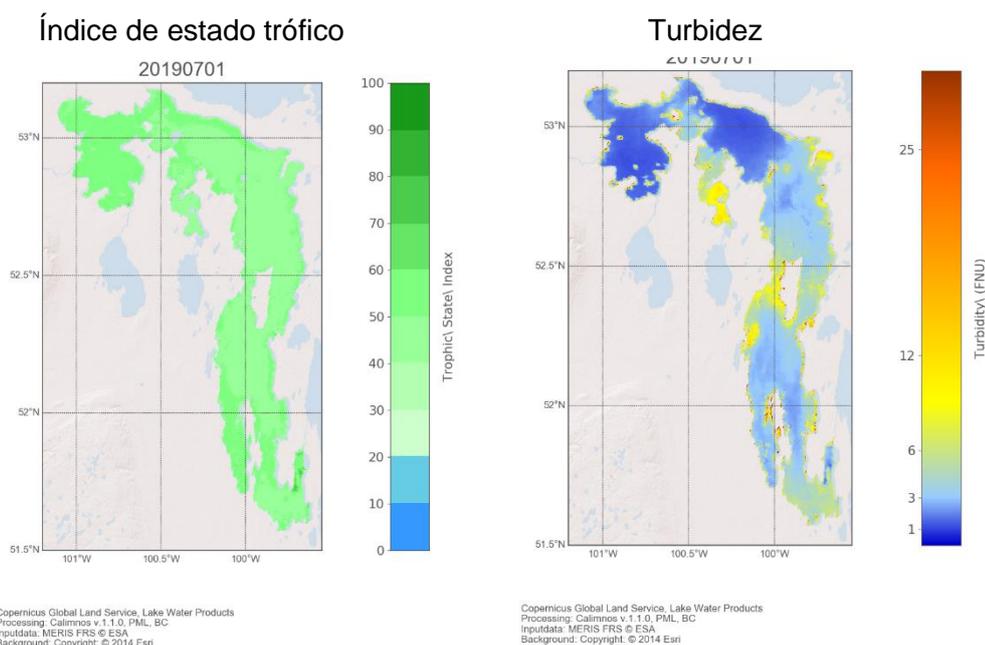


Figura 5: Lago Winnipegosis - Índice de estado trófico (izquierda) y turbidez (derecha) correspondientes a julio de 2019

La información generada sobre un grupo de lagos se sometió a una prueba de coherencia (series temporales) y se contrastó con datos obtenidos *in situ*. En el portal del indicador 6.6.1 ([sdg661.app](#)) puede descargarse una explicación técnica detallada de la metodología.

3.5.3. Cálculo estadístico de la turbidez y del índice de estado trófico

Se ha establecido un período de referencia que comprende promedios mensuales calculados a partir de las observaciones efectuadas durante el período 2006-2010. En concreto se calcularon 12 promedios mensuales del estado trófico y de la turbidez. A continuación, se usa otro conjunto de observaciones para cuantificar la variación de los dos parámetros respecto de los datos de referencia. Estos datos mensuales corresponden a los años 2017, 2018 y 2019. Se han deducido los 12 promedios mensuales de estos tres años.

Mediante la ecuación siguiente se calcula la desviación mensual respecto de la base de referencia plurianual:

$$\text{promedio mensual} - \text{referencia mensual} / \text{referencia mensual} \times 100$$

En cada píxel y cada mes se ha contabilizado el número de observaciones válidas y el número de meses en los que hubo desviaciones, que se encuadran en alguno de los siguientes intervalos porcentuales: 0 % a 25 %, 25 % a 50 % (media), 50 % a 75 %, 75 % a 100 % (elevada). También se elabora una síntesis de las desviaciones anuales.

Datos de nivel 2

Los subindicadores incluidos en el nivel 2 son aspectos del indicador 6.6.1 que se cuantifican mediante modelos o cuyo seguimiento debe hacerse *in situ* dentro de los propios países. El organismo custodio solicitará periódicamente datos de nivel 2 recopilados *in situ* por los países y, tras someterlos a un control de calidad, los presentará a la División de Estadística de las Naciones Unidas.

3.6. Medición o modelización del caudal fluvial (aforo)

El aforo de ríos y estuarios, es decir, el volumen de agua que discurre por unidad de tiempo, es un parámetro fundamental para conocer la cantidad de agua de un ecosistema y su disponibilidad para el consumo humano. En la presente sección se describen cuestiones fundamentales que deben tomarse en consideración para la medición del aforo y se exponen criterios para la obtención de datos sobre caudal fluvial en apoyo del indicador 6.6.1.

Métodos comunes de seguimiento *in situ*. Hay varios métodos de seguimiento del caudal *in situ* que deben seleccionarse en función del tipo y tamaño de la masa de agua, el terreno, la velocidad del flujo de agua, el grado de precisión que se desea obtener con la medición y los recursos económicos disponibles. Dos de los enfoques más habituales y accesibles son el recurso a las estaciones de medición y el uso de correntómetros. En muchos países, las estaciones de medición son el medio más frecuente para cuantificar el caudal de los ríos, ya que permiten hacer un seguimiento continuo y a menudo sincrónico. Se trata de emplazamientos fijos situados en puntos determinados de las márgenes de un río o estuario en los que se da una relación única entre el nivel de la superficie acuática y el flujo de corriente para vigilar las variaciones de ese nivel y generar una curva de valores. El nivel del agua se mide con frecuencia, y el caudal suele estimarse una vez al mes, aunque en muchos lugares este cálculo se hace a diario o incluso de forma continua. Pueden utilizarse medidores de corriente y otros instrumentos para aforar la corriente y calcular el caudal. Por ejemplo, la velocidad de la corriente suele medirse con correntómetros de molinete, pigmeos o electromagnéticos, que pueden combinarse con métodos de sección transversal para obtener tasas de flujo. En los ríos y estuarios de mayor tamaño se usan mucho

los llamados perfiladores de corrientes acústicos doppler, dispositivos que emiten ondas acústicas y miden la reflectancia para determinar con precisión la profundidad del lecho, la velocidad de la corriente y el caudal. Suelen acoplarse a embarcaciones que los arrastran a lo largo de una masa de agua, aunque también pueden instalarse en emplazamientos estáticos. Los medidores e instrumentos como los perfiladores doppler son bastante más costosos que otros sistemas de medición y requieren operadores cualificados y buenos programas de mantenimiento. Sin embargo, pueden ser la opción más indicada en los ríos de mayor tamaño, sobre todo en épocas de mucho caudal.

Ubicación del seguimiento. El método de seguimiento elegido puede determinar el lugar en el que se mida el caudal de un río o estuario. Por ejemplo, si hay presas fijas, el seguimiento se efectuará siempre en ese punto. Dado que la medición del caudal *in situ* puede exigir mucho tiempo y dinero, se recomienda elegir lugares estratégicos que sean representativos de todo el río o estuario en cuestión. Como mínimo, en las proximidades de la salida de cada cuenca (el punto en que la cuenca desagua en otra) debería colocarse una instalación de medición del aforo. Además, el seguimiento en el punto de salida de los afluentes principales aporta un nivel considerable de información extra. En las zonas en que el caudal acuse la influencia de la actividad humana, se recomienda hacer un seguimiento del flujo de corriente aguas arriba y aguas abajo de esos lugares para poder gestionar toda la situación en su conjunto.

Frecuencia del seguimiento. La cantidad de agua de un río o estuario puede cambiar rápidamente como resultado de las precipitaciones y el clima. Cuantos más datos haya sobre el caudal, mayor será su precisión. De nuevo, sin embargo, es importante centralizar las actividades de seguimiento y elegir una pauta temporal estratégica. Lo ideal sería recoger los datos sobre el caudal en un lugar determinado con una frecuencia diaria, o cuando menos mensual, y usar después estos datos para determinar las tendencias anuales y a largo plazo. Las subidas de la marea pueden influir considerablemente en la cantidad de agua de los estuarios, por lo que este indicador se limita a cuantificar el volumen de agua dulce que afluye al estuario desde aguas arriba.

Modelización del caudal. Además del seguimiento *in situ*, cuyos valores siempre se verán afectados por todas las formas de moderación de caudal, almacenamiento o extracciones efectuadas aguas arriba, también es posible modelizar el caudal con cualquiera de los muchos modelos disponibles que utilizan datos climáticos y de uso de la tierra, entre otros datos, para estimar los flujos naturales y los actuales. Aparte de los modelos hidrológicos disponibles a nivel mundial, en algunos países se han ideado modelos análogos para el contexto nacional que se calibran a partir de datos reales reunidos sobre el terreno. Siempre que sea posible, se recomienda complementar los datos de caudal obtenidos mediante modelos con datos recogidos *in situ* para garantizar la precisión. Por lo general, los modelos hidrológicos conceptuales que se usan para estimar el caudal son menos capaces de detectar los efectos de las variaciones leves de la cubierta terrestre en el caudal a lo largo del tiempo, ya que se calibran a partir de los datos históricos de los flujos de corriente y las condiciones de uso de la tierra asociadas.

3.7. Medición de la cantidad de agua subterránea de los acuíferos

Las variaciones de la cantidad de agua subterránea que contienen los acuíferos es una información importante para muchos países que dependen en gran medida de la disponibilidad de esas aguas. Para los fines del indicador 6.6.1, el seguimiento de esas variaciones permite hacerse una idea ajustada de los cambios que experimenta el agua almacenada en un acuífero. Además, en el informe solo se incluirán acuíferos importantes que puedan considerarse ecosistemas de agua dulce autónomos.

Ubicación del seguimiento. El nivel de agua de un acuífero se mide mediante perforaciones. Una de las dificultades que plantea el seguimiento de estas masas de agua es la elección de la ubicación de los pozos de sondeo de modo que representen con suficiente precisión el estado del acuífero en cuanto a cantidad total de agua. No cabe prescribir una cifra exacta de pozos que deben controlarse, ya que la distribución de las aguas subterráneas puede variar en función de la ubicación y las características de los acuíferos. No obstante, se recomienda vigilar un número de pozos suficiente para obtener una estimación representativa de la zona. Al determinar el número de pozos que mejor represente la zona habrá que tener en cuenta la capacidad del país en cuestión. Asimismo, se recomienda encarecidamente utilizar pozos de observación o pozos de seguimiento (pozos desprovistos de bombas); deben evitarse los datos obtenidos con pozos usados (provistos de bombas). En el caso de que sea necesario efectuar mediciones en un pozo con bomba, es fundamental interrumpir su uso durante un período de recuperación lo bastante largo para que el nivel de las aguas subterráneas se estabilice antes de emprender cualquier medición.

Frecuencia del seguimiento. Los niveles de las aguas subterráneas varían como consecuencia de las alteraciones en la recarga de los acuíferos (a su vez influidas por las condiciones climáticas y el uso de la tierra) y de extracciones artificiales de aguas subterráneas. Es necesario tener en cuenta las influencias estacionales y los ciclos húmedo y seco, de ahí que la frecuencia de observación óptima sea la mensual, aunque como mínimo deberían recogerse datos dos veces al año, en las estaciones húmeda y seca.

Criterios para la obtención de datos del indicador 6.6.1

Los datos que se suministren al organismo u organismos custodios se someterán a un control de calidad para garantizar su integridad. Con los datos recogidos sobre el nivel de las aguas subterráneas se elaboran estadísticas que dan una medida aproximada del volumen de un acuífero a lo largo del tiempo. A fin de examinar las alteraciones de ese volumen lo largo del tiempo, se calcula una variación porcentual del nivel de las aguas subterráneas que se someterá a la validación conjunta del organismo custodio y el país que corresponda. El cálculo de la variación porcentual a nivel nacional requiere el establecimiento de un período de referencia común para todas las cuencas, que podrá basarse en datos históricos sobre el nivel del acuífero (preferiblemente) o en datos modelizados, si se dispone de ellos. Cuando no se disponga de esos datos, podrá tomarse como referencia un período más reciente.

4 PORTAL DE DATOS MUNDIALES SOBRE EL INDICADOR 6.6.1

La creación del portal de datos del indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible obedece a la necesidad de apoyar los procesos nacionales de seguimiento y presentación de informes y facilitar la adopción de decisiones basadas en datos para proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua. Como se ha descrito en las secciones anteriores, se han aplicado rigurosos enfoques metodológicos para obtener datos de gran precisión. Los datos disponibles (a marzo de 2020) abarcan muchos aspectos del indicador 6.6.1. Los conjuntos de datos disponibles se actualizarán con periodicidad. El PNUMA seguirá colaborando con sus asociados en un empeño por incorporar datos nuevos en el portal para que los Estados Miembros los asimilen y se sirvan de ellos, en concreto, datos sobre la dinámica del volumen de lagos y embalses, y caudales fluviales calculados partir de modelos. Estos conjuntos de datos nuevos complementarán los datos ya disponibles sobre las variaciones de la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua y aportarán más información útil para fundamentar la adopción de decisiones acertadas para la protección y el restablecimiento de los ecosistemas relacionados con el agua.

Referencias

Albert y otros, 2020. Scientists' warning to humanity on freshwater biodiversity crisis. *Ambio. Perspective*. Kungl. Vetenskaps Akademien

Convención de Ramsar, 2018. Ramsar Technical Report 10: The use of Earth Observation for wetland inventory, assessment and monitoring.

http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/rtr10_earth_observation_e.pdf

Dickens y otros, 2019. Chris Dickens, Matthew McCartney: Water-related Ecosystems, International Water Management Institute, Sri Lanka.

Gardner R, Finlayson C., 2018. Global wetland outlook: state of the World's wetlands and their services to people. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza)

Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2019. Global and Complementary (Non-authoritative) Geospatial Data for SDGs: Role and Utilization, Stephan Arnold, Jun Chen & Olav Eggers, producido por el Grupo de Trabajo sobre Información Geoespacial del Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y puesto a disposición del Grupo en su novena reunión, celebrada en marzo de 2019.

http://ggim.un.org/documents/Report_Global_and_Complementary_Geospatial_Data_for_SDGs.pdf

Farr y otros, 2004. Farr, T.G., Rosen, P.A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodríguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimada, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., y Alsdorf, D.E., 2007, The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics*, vol. 45, núm. 2, RG2004, disponible en <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>

Lehner y otros, 2011. Lehner, B., C. Reidy Liermann, C. Revenga, C. Vörösmarty, B. Fekete, P. Crouzet, P. Döll, M. Endejan, K. Frenken, J. Magome, C. Nilsson, J.C. Robertson, R. Rodel, N. Sindorf, y D. Wisser, 2011, High-resolution mapping of the world's reservoirs and dams for sustainable river-flow management. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9 (9): págs. 494 a 502.

Lucas y otros, 2014. Lucas, R., Rebelo, L.-M., Fatoyinbo, L., Rosenqvist, A., Itoh, T., Shimada, M., Simard, M., Souza-Filho, P.W., Thomas, N., Trettin, C., Accad, A., Carreiras, J. & Hilarides, L., 2004, "Contribution of L-band SAR to systematic global mangrove monitoring", *Investigación marina y de agua dulce*, 65(7), págs. 589 a 603. doi.org/10.1071/MF13177

MEA, 2005. Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and Human Well Being: Wetlands and water synthesis, Island Press, Washington, DC.

Naciones Unidas, 2015. Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>

Naciones Unidas, 2018. Guidelines on Data Flows and Global Data Reporting for Sustainable Development Goals, preparado por el Grupo Interinstitucional y de Expertos sobre los Indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, Comisión de Estadística de las Naciones Unidas.

<https://unstats.un.org/unsd/statcom/49th-session/documents/BG-Item-3a-IAEG-SDGs-DataFlowsGuidelines-E.pdf>

ONU-Agua, 2019. Informe de políticas sobre el cambio climático y el agua, versión de septiembre de 2019.

Pekel y otros, 2016. Jean-Francois Pekel, Andrew Cottam, Noel Gorelick, Alan S. Belward, High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature* 540, págs. 418 a 422 (2016). doi:10.1038/nature20584.

Reid y otros, 2019. Reid AJ, Carlson AK, Creed IF, Eliason EJ, Gell PA, Johnson PT, Kidd KA, MacCormack TJ, Olden JD, Ormerod SJ., 2019, Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94, págs 849 a 873.

Sayer y otros, 2019. Roger Sayre, Suzanne Noble, Sharon Hamann, Rebecca Smith, Dawn Wright, Sean Breyer, Kevin Butler, Keith Van Graafeiland Charlie Frye, Deniz Karagulle Dabney Hopkins, Ilima Stephens, Kevin Kelly, Zeenatul Basher, Devon Burton, Jill Cress, Karina Atkins, D. Paco Van Sistine, Beverly Friesen, Rebecca Allee, Tom Allen, Peter Aniello, Irawan Asaad, Mark John Costello, Kathy Goodin, Peter Harris, Maria Kavanaugh, Helen Lillis, Eleonora Manca, Frank Muller-Karger, Bjorn Nyberg, Rost Parsons, Justin Saarinen, Jac Steiner & Adam Reed, 2019, A new 30 meter resolution global shoreline vector and associated global islands database for the development of standardized ecological coastal units, *Journal of Operational Oceanography*, 12:sup2, S47 a S56, DOI: [10.1080/1755876X.2018.1529714](https://doi.org/10.1080/1755876X.2018.1529714)

Thomas, N., Lucas, R., Bunting, P., Hardy, A., Rosenqvist, A., y Simard, M., 2017. “Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996-2010”. *PLOS ONE* 12(6): e0179302. doi.org/10.1371/journal.pone.0179302

UICN, 2017. Issues Brief on Peatlands and Climate Change.

https://www.iucn.org/sites/dev/files/peatlands_and_climate_change_issues_brief_final.pdf

UICN, 2017. Mangroves and REDD+: A new component of MFF.

<http://www.iucn.org/news/asia/201711/mangroves-and-redd-new-component-mff>

