Informe Técnico de Ramsar 10

Convención sobre los Humedales

Ramsar

La utilización de la observación de la Tierra para realizar inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales

Una fuente de información para la Convención de Ramsar sobre los Humedales

www.ramsar.org

Autores

Autores principales
Rebelo, L.-M., Instituto Internacional para el Manejo del Agua, Oficina Regional para Asia Suroriental, Vientiane (R.D.P. Lao) y Finlayson, C.M., Institute for Land, Water and Society, Universidad Charles Sturt, Albury N.S.W. (Australia) e IHE Delft Institute for Water Education, Delft (Países Bajos).

Autores colaboradores
Strauch, A., Center for Remote Sensing of Land Surfaces (ZFL), Universidad de Bonn, Bonn (Alemania); Rosenqvist, A., solo Earth Observation, para la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA), Tokio (Japón); Perennou, C., Tour du Valat, Instituto de Investigación para la Conservación de los Humedales Mediterráneos, Arles (Francia); Tøttrup, C., DHI GRAS, Hoersholm (Dinamarca); Hilarides, L., Wetlands International, Ede (Países Bajos); Paganini, M., Agencia Espacial Europea (ESA), ESRIN, Frascati (Italia); Wielaard, N., Satelligence, Utrecht (Países Bajos); Siegert, F.; Ballhorn, U.; Navratil, P.; Franke, J.; Davidson, N., Nick Davidson Environmental, Wigmore (Reino Unido) e Institute for Land, Water and Society, Universidad Charles Sturt, Albury, N.S.W. (Australia).

Cita recomendada:
Rebelo, L.-M., Finlayson, C.M., Strauch, A., Rosenqvist, A., Perennou, C., Tøttrup, C., Hilarides, L., Paganini, M., Wielaard, N., Siegert, F., Ballhorn, U., Navratil, P., Franke, J. y Davidson, N. (2018). La utilización de la observación de la Tierra para realizar inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales: Una fuente de información para la Convención de Ramsar sobre los Humedales. Informe Técnico de Ramsar núm. 10. Gland (Suiza): Secretaría de la Convención de Ramsar.

Agradecimientos

La Secretaría de la Convención de Ramsar sobre los Humedales quisiera agradecer las valiosas contribuciones realizadas por expertos asociados a los esfuerzos del Grupo de Examen Científico y Técnico (GECT) para brindar asesoramiento sobre la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales a lo largo de los años, por ejemplo sobre el desarrollo de métodos de observación de la Tierra (OT) para describir y evaluar los cambios en las características ecológicas de los humedales. Estos esfuerzos dieron lugar a una decisión de la 12ª reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes (COP12) en 2015 para solicitar este informe en el plan de trabajo del GECT para 2016-2018.

Merecen una mención especial los esfuerzos del catedrático Royal Gardner, Presidente del GECT, para organizar el plan de trabajo para el trienio 2016-2018 y animar a los autores responsables del presente informe, así como el apoyo de la Secretaría de la Convención de Ramsar, que facilitó la redacción, elaboración y publicación del informe.

También se agradecen las contribuciones de distintas iniciativas de OT al plan de trabajo del GECT para 2016-2018 y el apoyo prestado por estas a los autores. Entre ellas figuran los proyectos GlobWetland II y GlobWetland Africa de la Agencia Espacial Europea, el Servicio de Observación Vía Satélite de Humedales (SWOS, por sus siglas en inglés) financiado por la Unión Europea perteneciente al programa Horizonte 2020, el programa *Mangrove Capital Africa* de Wetlands International y las iniciativas *Kyoto and Carbon Initiative* de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) y *Wetlands Initiative* del Grupo de Observación de la Tierra (GOT, GEO en inglés).

Las opiniones y designaciones expresadas en esta publicación son las de sus autores y no necesariamente representan puntos de vista oficialmente adoptados por la Convención sobre los humedales o su Secretaría.

Esta publicación puede ser reproducida en su totalidad o en parte y en cualquier forma para fines educativos o sin fines de lucro sin ningún permiso especial de los titulares de los derechos de autor, siempre que se cite la fuente.

La Secretaría agradecería recibir una copia de cualquier publicación o material que utilice este documento como fuente.

Salvo que se indique lo contrario, esta publicación está protegida por una licencia de Atribución No Comercial-Sin Obras Derivadas de Creative Commons.

La Secretaría de la Convención sobre los humedales publica los Informes Técnicos de Ramsar en español, francés e inglés (los idiomas oficiales de la Convención) en formato electrónico y también en forma impresa cuando se le solicita.

los Informes Técnicos de Ramsar se pueden descargar en la siguiente dirección: https://www.ramsar.org/es/recursos/informes-tecnicos-de-ramsar.

Se puede obtener información sobre el GECT en la siguiente dirección: http://www.ramsar.org/es/acerca-de/el-grupo-de-examen-cientificoy-tecnico-gect.

Si desea obtener más información sobre los Informes Técnicos de Ramsar o solicitar información sobre el modo de contactar con sus autores, sírvase ponerse en contacto con la Secretaría de la Convención sobre los Humedales utilizando la siguiente dirección: strp@ramsar.org.

Publicado por la Secretaria de la Convención sobre los humedales.

© 2021 Secretaría de la Convención sobre los Humedales.

La Convención sobre los Humedales

La Convención sobre los Humedales, también conocida como la Convención de Ramsar, es el tratado intergubernamental que ofrece el marco para la conservación y el uso racional de los humedales y sus recursos.

Prólogo

La utilización de la observación de la Tierra (OT) brinda nuevos métodos a las Partes Contratantes en la Convención de Ramsar sobre los Humedales para garantizar el uso racional y la conservación de los humedales a escala nacional y mundial. La OT tiene muchas aplicaciones, tales como la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales. Conforme avance la tecnología, se reducirán las limitaciones pasadas de la OT y se prevé que aumente su utilización en la gestión de los humedales. Con el presente Informe Técnico de Ramsar se pretende aportar a los profesionales una visión general y estudios de caso con ejemplos de la utilización de la OT para aplicar la Convención y realizar un uso racional de los humedales de manera más generalizada.

La OT será una herramienta cada vez más importante para realizar un seguimiento y presentar informes sobre la ejecución del Plan Estratégico de Ramsar, los indicadores de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) en el marco del Acuerdo de París sobre el cambio climático y las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Lo más importante es que el papel de la OT será crucial a medida que las Partes cumplan su compromiso de elaborar inventarios de humedales y presentar informes sobre la extensión de los humedales en sus informes nacionales a la Convención de Ramsar. Esto es particularmente pertinente ya que estos datos validados a escala nacional formarán parte de los informes sobre el indicador 6.6.1 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relativo a la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua, del que la Convención de Ramsar y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente son cocustodios. Los estudios de caso incluidos en el presente informe aportan ejemplos de cómo se puede utilizar la OT para cumplir los requisitos en materia de presentación de informes en la Convención (p. ej., los informes nacionales y la Ficha Informativa de Ramsar o FIR) y también en las políticas y metas mundiales.

Sin embargo, la utilización efectiva de la OT no está exenta de desafíos. Actualmente, los datos de OT disponibles no son aptos para algunas aplicaciones y la frecuencia está mejorando pero sigue siendo una limitación. A muchos profesionales de los humedales les faltan conocimientos sobre la validación y utilización de la OE y la gestión de conjuntos de datos. Los estudios de caso ilustran cómo se pueden superar estas limitaciones.

A lo largo de los años, el Grupo de Examen Científico y Técnico (GECT) de la Convención ha brindado a las Partes Contratantes orientaciones y asesoramiento sobre la OT. Conforme evolucionan las tecnologías de OT y aumentan la diversidad y la calidad de las aplicaciones, la Convención y el GECT están dispuestos a ayudar a las Partes a elaborar más orientaciones y herramientas para utilizar la OT de manera eficaz para aplicar la Convención y garantizar el uso racional y la conservación de todos los humedales.

Martha Rojas Urrego
Secretaria General

Royal Gardner
Presidente del GECT

Resumen

Hay una creciente toma de conciencia de que los datos obtenidos mediante la observación de la Tierra (OT) tienen el potencial de aportar la información necesaria para realizar con precisión el inventario, la evaluación y el seguimiento de los humedales y para actualizar varios campos de datos en la Ficha Informativa de Ramsar (FIR). Algunos de estos campos son los rasgos físicos del humedal, la presencia y el predominio de tipos concretos de humedales y los factores que afectan a las características ecológicas del humedal.

Al igual que ocurre con los métodos actuales basados en la OT, la identificación de la ubicación, la extensión y las características de cualquier humedal puede verse limitada por la falta de datos concretos, por ejemplo a consecuencia de las limitaciones reconocidas de las imágenes ópticas como las de Landsat en regiones tropicales cubiertas de nubes. Algunas de las limitaciones del uso de la OT para derivar sistemáticamente información sobre humedales son el costo de la tecnología, la capacidad técnica necesaria para utilizar los datos, la inadecuación de los datos disponibles para algunas aplicaciones básicas (particularmente en relación con su resolución espacial o temporal), la falta de métodos claros, robustos y eficaces orientados a los usuarios, la ausencia de orientaciones para utilizar la tecnología y la falta de estudios de caso que demuestren cómo se puede aplicar la tecnología. Otras limitaciones señaladas habitualmente para la ampliación y utilización operativa de la OT en la realización de inventarios, evaluaciones y el seguimiento de los humedales son: políticas restrictivas de acceso a los datos; dificultades para encontrar conjuntos de datos pertinentes y acceder a ellos; falta de normalización en el análisis de los datos y las aplicaciones; falta de productos adecuados para el uso previsto; insuficiente frecuencia de observaciones para realizar un seguimiento de los cambios en los humedales a la escala adecuada; necesidad de una continuidad en las observaciones a largo plazo; e insuficientes programas de formación para crear capacidad en OT a escala nacional.

Aunque la realización de mapas de la cubierta terrestre y los usos de la tierra es una de las aplicaciones más comunes de los datos de OT, sigue habiendo dificultades para evaluar el estado actual y los cambios de los humedales a lo largo del tiempo. El seguimiento de las tendencias históricas y los cambios en los patrones de los humedales se ve complicado por la falta de datos de media a alta resolución, particularmente antes del año 2000. Aunque cada vez se dispone de más productos temáticos mundiales, cabe destacar que los conjuntos de datos mundiales suelen menor precisión que un mapa a escala local derivado de estudios terrestres y la utilización de datos geoespaciales de resolución más fina (p. ej. aéreos, drones). Cuando se realiza una cartografía de determinadas áreas a escala mundial suele ser necesario aceptar una cierta pérdida de precisión a escala local.

Se destacan las ventajas y limitaciones de la OT para realizar inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales en distintos ambientes mediante varios estudios de caso en los que se abarcan las siguientes cuestiones: i) herramientas y secuencias de tareas, ii) conjuntos de datos temáticos mundiales y iii) métodos nacionales replicables disponibles para la comunidad de los humedales.

Aunque los estudios de caso se presentan como ejemplos de la aplicación de la OT, dada la gran variedad de condiciones locales y necesidades informativas no constituyen orientaciones técnicas sobre la aplicación de ningún método concreto. Se pueden obtener dichas orientaciones a través de los organismos y organizaciones mencionados en los estudios de caso y también consultando las referencias concretas. Esto por sí solo refuerza los beneficios que pueden lograrse mediante una inversión concertada y continuada en la capacidad para aplicar la OT en respuesta a necesidades concretas de gestión. A medida que aumenta la posibilidad de acceder a conjuntos de datos mundiales, quedan más claras las ventajas de utilizar la OT para la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales, como muestran los estudios de caso, y se prevé que mejore rápidamente la utilidad de dichos enfoques para elaborar informes a escala local, nacional e internacional sobre el estado y las tendencias de los humedales, por ejemplo informes sobre la extensión de los humedales en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Mensajes clave

- La disponibilidad y accesibilidad de conjuntos de datos de observación de la Tierra (OT) adecuados para satisfacer las necesidades de información de la Convención de Ramsar sobre los Humedales y los profesionales de los humedales ha aumentado drásticamente. Las nuevas posibilidades en materia de resolución espacial, temporal y espectral de los datos han permitido realizar un seguimiento más eficaz y fiable del medio ambiente a lo largo del tiempo a escala mundial, regional y local. Estos avances aportan un sinfín de nuevas oportunidades para realizar un seguimiento y presentar informes sobre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN) en el marco del Acuerdo de París y el programa de colaboración de las Naciones Unidas para la Reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación de los bosques (REDD+), bajo los auspicios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

- Las limitaciones señaladas en el pasado sobre la utilización de la OT para derivar información sobre los humedales se han vuelto menos limitantes. Algunos ejemplos son i) el costo de la tecnología, ii) la falta de capacidad técnica, iii) la inadecuación de los datos de OT disponibles actualmente para algunas aplicaciones básicas, iv) la falta de métodos claros, robustos y eficaces dirigidos a los usuarios y orientaciones para utilizar esta tecnología y v) la falta de un historial sólido de casos de éxito que puedan formar la base de actividades operativas.

- La insuficiente frecuencia de observaciones para hacer un seguimiento de los cambios en los humedales a la escala adecuada se ha atajado mediante la utilización de sensores nuevos. Concretamente, la creciente disponibilidad de observaciones de satélite sistemáticas y frecuentes de alta resolución espacial en todas las superficies terrestres y zonas costeras permite una mejor representación de las zonas inundadas estacional o intermitentemente y sus cambios, siendo fuentes de información esenciales para evaluar el estado de salud de los ecosistemas de humedales.

- Las políticas de acceso abierto y gratuito a los datos de satélite financiados por los gobiernos estatales, junto con la garantía de la continuidad de las observaciones a largo plazo, son importantes incentivos para que las Partes Contratantes de la Convención de Ramsar y los profesionales de los humedales integren la OT habitualmente en su trabajo.

- Con la creciente disponibilidad de conjuntos de datos “listos para su análisis” ha disminuido el nivel de conocimientos necesarios para aplicaciones básicas en materia de humedales.

- Es posible analizar en mayor medida los conjuntos de datos listos para su análisis para derivar información relacionada con los humedales utilizando herramientas de software de libre acceso (que suelen tener licencias de código abierto) desarrolladas a través de iniciativas de OT en curso. Además, cada vez se dispone de más productos temáticos (a escala regional y mundial) que se pueden utilizar para realizar evaluaciones y un seguimiento directo de los humedales. La combinación de esos factores permite que la utilización de la OT para la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales pase de ser experimental a operativa.

- Los conjuntos de datos con características temporales, espectrales y espaciales mejoradas plantea nuevos retos para manejar grandes conjuntos de datos y analizar series temporales largas y densas que requieren nuevos algoritmos y cadenas de procesamiento. Para atajar las dificultades técnicas relativas al acceso, tratamiento y análisis de esos conjuntos de datos de OT tan grandes, se están desarrollando varias plataformas de colaboración en la nube con el análisis de grandes datos que facilitan el descubrimiento, acceso, tratamiento y análisis y también la divulgación de los datos de OT.

- Aunque que la OT es una importante aportación a la realización de inventarios, evaluaciones y el seguimiento de los humedales, sigue siendo fundamental conocer el contexto local y recopilar datos *in situ* para obtener resultados pertinentes a escala local. Gracias al desarrollo de métodos de OT y al intercambio de información derivada de conjuntos de datos mundiales, las Partes Contratantes en la Convención estén mejor equipadas para realizar inventarios y presentar informes sobre la extensión de los humedales, que actualmente forman parte de los informes exigidos sobre los ODS.

Introducción

La Convención de Ramsar sobre los Humedales ha tomado muchas medidas para garantizar el uso racional y la conservación de los humedales a escala mundial. Para ello, entre otras cosas se han elaborado y promovido orientaciones y herramientas para el inventario, la evaluación y el seguimiento de los cambios en los humedales centrándose particularmente en los últimos años en la aplicación de un número creciente de métodos de teledetección basados en la observación de la Tierra (OT), es decir, en datos de satélite (Davidson y Finlayson, 2007; Mackay et al., 2009; Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010a). La descripción de la función y utilización de esos métodos incluida en el presente informe es una respuesta a la petición de las Partes Contratantes en la Convención de más información sobre las herramientas que se pueden utilizar para realizar inventarios de los humedales así como evaluaciones y un seguimiento de los cambios en estos, incluidos los que están clasificados como Humedales de Importancia Internacional (sitios Ramsar). Esto se ha vuelto necesario al haber una creciente demanda de información que los administradores de humedales puedan utilizar fácilmente para entender y atajar la pérdida y degradación continuadas de los humedales, así como de información que se pueda utilizar para preparar los informes exigidos a escala nacional e internacional, por ejemplo sobre la extensión de los humedales en los informes sobre las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Muchos países han realizado o acometido inventarios de humedales utilizando varios métodos (Finlayson et al., 2018), tales como la utilización de distintas herramientas de teledetección con datos de satélite. Algunos ejemplos son el segundo estudio nacional sobre los recursos de humedales en China, compuesto por estudios generales de todos los humedales y estudios más específicos de 1 579 sitios de importancia nacional o internacional (SFA, 2014), un inventario nacional de humedales en Colombia (Instituto Humboldt, 2015) y un proyecto de priorización nacional de los ecosistemas de agua dulce en Sudáfrica (Nel et al., 2011). También ha aumentado la realización de mapas y análisis de humedales e inundaciones utilizando la OT (véanse Papa et al., 2010; Niu et al., 2012; Reis et al., 2017) a fin de generar una mayor base de conocimiento para fines más amplios de gestión del agua y el medio ambiente. La disponibilidad de esos conjuntos de datos ha aumentado el interés de los administradores de recursos naturales por utilizar los métodos de OT, cada vez más complejos y ricos en datos, y ha permitido que las Partes Contratantes en la Convención elaboren inventarios nacionales de humedales y presenten informes sobre la extensión de los humedales para medir el indicador 6.6.1 de los ODS.

Dado que la finalidad del presente informe es aportar una visión general de la aplicación de las tecnologías de OT que se están utilizando actualmente para apoyar la aplicación de la Convención y la ejecución de su Cuarto Plan Estratégico (2016-2024), se presentan varios estudios de caso actuales. El informe también se basa en los resultados del proyecto *Treaty Enforcement Services using Earth Observation* (TESEO, servicios para hacer cumplir tratados empleando la observación de la Tierra) (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010a) sobre cómo se podrían satisfacer las necesidades de información de la Convención utilizando tecnologías de OT. Entre estas se incluyen la necesidad de un mayor conocimiento sobre los humedales, incluido un inventario mundial, el apoyo para garantizar el mantenimiento de las características ecológicas y la información para potenciar la aplicación de la Convención. Además de la ayuda necesaria para la realización de inventarios y mapas de referencia de humedales, se necesita apoyo a escala nacional para evaluar el estado y las tendencias y para la ejecución de planes de gestión (p. ej., rehabilitación). Se han ampliado los requisitos en materia de presentación de informes sobre los humedales para incluir los de las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica 2011-2020 y los de los ODS (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018).

El término “observación de la Tierra” (OT) se está utilizando cada vez más para hacer referencia a la “recopilación de información sobre … los sistemas físicos, químicos y biológicos de la Tierra” utilizando diversos métodos y mediante distintos tipos de observaciones (p. ej., terrestres o mediante sensores aéreos o satélites) (Mayer, 2018). No obstante, en el presente informe el término se utiliza en un contexto más específico para hacer referencia a la adquisición de datos mediante la utilización de teledetección por satélite. El término “teledetección” se refiere a la adquisición de información sobre la superficie de la Tierra desde la distancia, un procedimiento que normalmente se suele realizar mediante sensores aéreos o espaciales (de satélite) que registran la energía reflejada o emitida y el tratamiento de dichos datos para convertirlos en información y productos para su utilización futura (Schowengerdt, 1997). Existen distintos tipos de datos de teledetección, dependiendo del tipo y la finalidad del sensor y también de la porción del espectro electromagnético en el que opera (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2002; Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010a). La utilidad de los distintos conjuntos de datos de teledetección para la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales está bien establecida, particularmente mediante el suministro de mapas del uso de la tierra y la cubierta terrestre de los sitios que caracterizan a un ecosistema concreto y el análisis de datos de series temporales (conjuntos de datos de teledetección obtenidos sistemáticamente durante un período de tiempo concreto) para determinar los cambios en el uso de la tierra y la cubierta terrestre (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010a).

La Convención de Ramsar sobre los Humedales y los métodos basados en la OT

Mediante un conjunto de recomendaciones coherentes y estratégicamente elaboradas, se ha brindado a las Partes Contratantes en la Convención herramientas para mantener y restaurar las características ecológicas de los humedales. Estas disponen actualmente de un “Marco integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales” (en lo sucesivo “el Marco”), en el que se incluye la referencia al posible uso de tecnologías de teledetección por satélite (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010b) y a la aplicación específica de datos facilitados por las agencias espaciales europea y japonesa (Finlayson et al., 2007; Fernández-Prieto y Finlayson, 2009). Se ha estudiado el papel de las tecnologías de OT en apoyo de la aplicación de la Convención, pero no se han aportado orientaciones concretas que tengan en cuenta cómo los avances en las tecnologías de teledetección por satélite pueden satisfacer las necesidades concretas de la Convención (véase Mackay et al., 2009).

Se ha realizado una evaluación de la información necesaria para gestionar los humedales a distintos niveles y de cómo la OT podría contribuir a aportar dicha información. En la evaluación se analizaron concretamente los datos necesarios para cartografiar y delinear los humedales, realizar inventarios de humedales y evaluar las causas y los resultados de los cambios mostrados por el seguimiento y la reconocimiento a largo plazo, ya sea a escala de los sitios o del paisaje, mediante el uso de indicadores que podrían alimentar el análisis de su estado y tendencias así como la presentación de informes formales en el marco de la Convención (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2018). Entre estos

últimos se incluye la provisión de información para las Fichas Informativas de Ramsar (FIR) con miras a designar sitios Ramsar, describir las características ecológicas de los humedales y determinar los cambios experimentados por estos (Véase Mackay et al., 2009), por ejemplo para las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica y los ODS.

Los estudios de caso que se presentan en este informe demuestran la utilización de tecnologías de OT para aplicar la Convención (Ramsar, 2002; Davidson y Finlayson, 2007; Mackay et al., 2009) y corresponden al concepto de la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales que se incorporó en el Marco (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010b). Este incluía las siguientes definiciones:

Características ecológicas: Combinación de los componentes, procesos y beneficios o servicios de los ecosistemas que caracterizan a un humedal en un determinado momento.

Uso racional de los humedales: Mantenimiento de sus características ecológicas logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible.

Inventario de humedales: Recolección y/o reunión de información básica para la gestión de los humedales, incluido el establecimiento de una base de información para actividades de evaluación y monitoreo específicas.

Evaluación de humedales: Determinación del estado de los humedales y de las amenazas que pesan sobre ellos, como base para reunir información más específica mediante actividades de monitoreo.

Monitoreo [o seguimiento] *de humedales*: Reunión de información específica con fines de gestión atendiendo a hipótesis derivadas de actividades de evaluación y aplicación de estos resultados de monitoreo a las actividades de gestión. La reunión de información en series temporales no impulsada por hipótesis para la evaluación de los humedales se denomina aquí "reconocimiento" (*surveillance,* en inglés) en vez de monitoreo.

Con arreglo a estas definiciones, el inventario de humedales "ofrece el punto de apoyo para orientar el desarrollo de la evaluación y monitoreo apropiados" y se utiliza para "reunir información que describa las características ecológicas de los humedales", por ejemplo la que se utiliza para justificar la designación de sitios Ramsar, documentada en la FIR (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2012). La evaluación de los humedales "considera las presiones y los riesgos conexos de los cambios negativos en las características ecológicas". El monitoreo de los humedales, "que puede incluir tanto estudios como reconocimiento, brinda información sobre la cuantía de los cambios" que se producen a consecuencia de las medidas de gestión. El inventario, la evaluación y el monitoreo o seguimiento de los humedales "son actividades de reunión de datos importantes e interactivas" así como elementos interrelacionados del Marco. Al existir solapamiento entre dichas actividades, particularmente dadas las preferencias por los métodos y la terminología locales y nacionales, el Marco se presenta como un continuo mediante el cual se obtienen y utilizan datos para ayudar a los administradores y profesionales de los humedales a tomar decisiones sobre la información que necesitan las intervenciones de gestión prioritarias para mantener las características ecológicas de un humedal en el contexto de su paisaje terrestre o acuático más amplio.

La OT se considera actualmente como una herramienta de buenas prácticas para colmar los vacíos de información que dificultan la labor de los administradores y profesionales de los humedales. Estas necesidades en materia de información han sido reconocidas por la Convención y sus organizaciones asociadas y han abarcado lo siguiente: la recolección de datos a largo plazo sobre los humedales, la normalización de técnicas para la recolección de datos y la elaboración de orientaciones y manuales, la capacitación y formación y por último la coordinación de los datos y el uso eficaz de redes y diversas fuentes de datos (Davidson y Finlayson, 2007). En general, se considera que el desarrollo de las tecnologías de OT debe ampliarse a su uso operativo para que se puedan realizar todos sus beneficios potenciales para la gestión de los humedales. En respuesta a estas necesidades y al rápido desarrollo de las tecnologías de OT, se ha estudiado su utilidad para apoyar la gestión de los humedales en el contexto de la Convención y de manera más generalizada (véanse Mackay et al., 2009 y Fernández-Prieto et al., 2006).

Conforme los avances tecnológicos han facilitado más opciones para recopilar datos y ayudado a superar muchas de las barreras que anteriormente limitaban la utilización de estos métodos

(Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010a), ha aumentado el interés por su aplicación. En particular, las siguientes cuestiones manifestadas en el pasado han dejado de ser tan limitantes: i. el costo de la tecnología; ii. la falta de capacidad técnica; iii. la inadecuación de los datos disponibles para aplicaciones básicas; iv. la falta de métodos claros, robustos y eficaces orientados a los usuarios para utilizar esta tecnología; y v. la falta de un historial sólido de estudios de caso exitosos que puedan servir de base para las actividades operativas (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2002).

En el presente informe se aporta información adicional sobre los avances que se han logrado mediante la utilización de estudios de caso y ejemplos prácticos, con enlaces explícitos a conjuntos de datos y herramientas de acceso libre para replicar los métodos en distintos sitios.

Información necesaria e instrumentos de política pertinentes

Además de aportar información que sea aplicable a la gestión directa de los humedales, la OT puede facilitar la presentación de los informes nacionales que las Partes Contratantes presentan a la Convención cada trienio. En los informes nacionales se aporta información resumida sobre las actividades realizadas por las Partes Contratantes para ejecutar el Plan Estratégico de Ramsar 2016-2024. Concretamente, la utilización de información de OT para la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales contribuirá a la presentación de informes sobre los siguientes objetivos:

Objetivo 2: "Llevar a cabo una conservación y un manejo eficaces de la red de sitios Ramsar";

Objetivo 3: "Realizar un uso racional de todos los humedales"; y

Objetivo 4: "Mejorar la aplicación".

La información de OT también es pertinentes para varias metas de Ramsar señaladas en el Plan Estratégico:

Meta 4: "Se identifican y priorizan especies exóticas invasoras y sus vías de entrada y expansión, se controlan o erradican las especies exóticas invasoras prioritarias y se preparan y aplican medidas de manejo para evitar su introducción y establecimiento";

Meta 6: "Se produce un aumento considerable de la superficie, la cantidad y conectividad ecológica de la red de sitios Ramsar, particularmente en lo que se refiere a tipos de humedales insuficientemente representados, inclusive en ecorregiones insuficientemente representadas y sitios transfronterizos"; y

Meta 8: "Se han iniciado, completado o actualizado, divulgado y utilizado inventarios nacionales de humedales para promover la conservación y el manejo eficaz de todos los humedales".

Asimismo, se puede contribuir a algunas de las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica del Convenio sobre la Diversidad Biológica al menos en parte mediante la utilización de información de OT, concretamente informando a los responsables de la toma de decisiones sobre los avances logrados:

Meta 5: "Para 2020 se habrá reducido por lo menos a la mitad y, donde resulte factible, se habrá reducido hasta un valor cercano a cero el ritmo de pérdida de todos los hábitats naturales";

Meta 11: "Para 2020, al menos el 17 por ciento de las zonas terrestres y de aguas continentales y el 10 por ciento de las zonas marinas y costeras … se conservan por medio de sistemas de áreas protegidas … bien conectados y otras medidas de conservación eficaces basadas en áreas";

Meta 14: "Para 2020, se han restaurado y salvaguardado los ecosistemas que proporcionan servicios esenciales, incluidos servicios relacionados con el agua, y que contribuyen a la salud, los medios de vida y el bienestar"; y

Meta 15: "Para 2020, se habrá incrementado la resiliencia de los ecosistemas y la contribución de la diversidad biológica a las reservas de carbono, mediante la conservación y la restauración".

En este sentido, el modelo de los informes nacionales de Ramsar constituye una oportunidad para mostrar cómo las medidas adoptadas para la aplicación de la Convención también contribuyen al logro de las Metas de Aichi.

Más recientemente, con la adopción de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible en 2015, se establecen 17 objetivos y 169 metas para hacer un seguimiento de los progresos hacia el logro del desarrollo sostenible. Los ODS se refieren directamente a los humedales en la Meta 15.1, a saber, asegurar "la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de agua dulce y sus servicios", y la Meta 6.6, sobre la protección y restauración de los ecosistemas relacionados con el agua, particularmente el indicador 6.6.1, que requiere una evaluación del "[c]ambio en la extensión de los ecosistemas relacionados con el paso del tiempo". Desde 2018, la Convención de Ramsar es cocustodia junto con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) del indicador 6.6.1 y ha empezado a presentar informes sobre la extensión de los humedales, basándose en los informes nacionales presentados por sus Partes

Contratantes. Con arreglo al indicador, el PNUMA será responsable de la metodología comparable internacionalmente con datos nacionales y de agrupaciones regionales y mundiales para el indicador 6.6.1 y la Convención aportará datos extraídos de los informes nacionales. En cada una de las dos líneas de presentación de informes a la base de datos mundial de los ODS sobre el indicador 6.6.1 se delineará claramente el tipo de datos que habrá que incluir. Cada cocustodio será responsable de la presentación de sus informes y contribuirá conjuntamente a la línea argumental de la meta 6.6 de los ODS. ONU Agua ha preparado un método de seguimiento de los indicadores de los ODS por etapas que está disponible públicamente. Se están elaborando orientaciones para el indicador 6.6.1, con un apartado sobre la extensión de los humedales.

Herramientas y conjuntos de datos

La disponibilidad y accesibilidad de conjuntos de datos de OT adecuados para satisfacer las necesidades de información de la Convención de Ramsar y los profesionales de los humedales han aumentado considerablemente en los últimos años. Esto ha impulsado el desarrollo y la ejecución de distintas iniciativas internacionales encaminadas a colmar vacíos de información y preparar herramientas para los profesionales. Algunos ejemplos son GEO-Wetlands[1], un marco de colaboración para la cooperación internacional, el diseño conjunto de soluciones de OT y la participación de las comunidades. La iniciativa GEO-Wetlands forma parte del programa de trabajo 2017-2019[2] del Grupo de Observaciones de la Tierra (GOT en español; GEO en inglés), que promueve la preparación y utilización abierta y en colaboración de datos de OT para apoyar la toma de decisiones a escala mundial. En los estudios de caso que se presentan a continuación se describen otras iniciativas.

Los estudios de caso se presentan para ilustrar en mayor medida la aplicación de las tecnologías de OT como “herramienta de buenas prácticas” y por lo tanto contribuyen a la aplicación de la Convención. Incluyen información sobre cómo identificar los datos y herramientas conexos disponibles para aplicarlos en distintos lugares. Son ejemplos prácticos de cómo la OT puede apoyar el mantenimiento y la restauración de las características ecológicas de los humedales, particularmente en lo que respecta a la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales. La finalidad no es presentar una lista exhaustiva de opciones sino demostrar cómo los conjuntos de datos y herramientas existentes de OT se pueden utilizar para colmar los vacíos de información relacionados con la extensión y el cambio de los humedales. Cada estudio de caso proporciona un ejemplo de una de estas tres posibilidades:

- software libre y secuencias de tareas diseñados para la evaluación de los humedales (estudio de caso 1 sobre el análisis a escala de los sitios y estudio de caso 2 sobre el análisis a escala regional);
- un conjunto de datos pertinente para los humedales disponible a escala mundial y de acceso libre (estudios de caso 3 y 4); o
- un método nacional para la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales que se puede transferir fácilmente a otros lugares (estudios de caso 5 y 6).

En cada estudio de caso, según procede, se indica la posibilidad de utilizar productos de OT para completar los campos de información necesarios para la FIR, que se usa al designar humedales como sitios Ramsar (Gardner y Davidson, 2011). En el Cuadro 1 se explica la pertinencia de los estudios de caso para la información requerida en la designación de sitios Ramsar, a partir de los campos de información de la FIR. La selección de ejemplos concretos se realizó a partir de la información aportada en cada una de las iniciativas analizadas, independientemente de su situación geográfica, para demostrar la utilidad de las iniciativas de OT actuales.

---

1 1 Véase http://geowetlands.org/.

2 El programa de trabajo se puede consultar en https://www.earthobservations.org/geoss_wp.php.

Cuadro 1: **Relación entre distintos estudios de caso sobre OT y la información necesaria para designar sitios Ramsar. La información necesaria se ha extraído de la Ficha Informativa de Ramsar.**

Información necesaria para el indicador del SISR	Ejemplo de estudio de caso
Mapa del sitio	Todos los estudios de caso
Coordenadas geográficas	Todos los estudios de caso
Ubicación general	Todos los estudios de caso
Extensión y área del humedal	Estudio de caso 1 – a escala del sitio Estudio de caso 2 – regional o nacional Estudio de caso 4 – mundial
Rasgos físicos del sitio, entre otros: • régimen hídrico estacional • calidad del agua • fluctuaciones y permanencia de las aguas superficiales	 Estudio de caso 1 Estudio de caso 3 Estudio de caso 1
Valores hidrológicos	Estudio de caso 3
Presencia y predominio de tipos de humedales	Estudios de caso 1, 2 y 4
Rasgos ecológicos generales Hábitats principales (incluidos los tipos de humedales y de vegetación): • zonación, variaciones estacionales y cambios a largo plazo • uso actual de la tierra y el agua	Estudios de caso 1 y 3 Estudios de caso 1, 2, 3 y 4 Estudios de caso 1 y 2
Amenazas a las características ecológicas	Estudio de caso 1

Estudio de caso 1

Actualización de la información sobre un sitio Ramsar existente: el lago Burullus (Egipto)

Para entender y mitigar los efectos adversos a largo y corto plazo asociados a la destrucción o modificación de los humedales, la Convención de Ramsar destaca la importancia de evaluar el estado, las tendencias y las amenazas de estos (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010b). No obstante, en muchas localidades la falta de datos limita seriamente la elaboración de informes adecuados sobre el estado y las tendencias de los humedales. Los datos convencionales suelen ser escasos en términos espaciales y temporales, ser de poca calidad o existir solo sobre lugares que pueden no ser representativos del ecosistema de humedales.

Este estudio de caso ilustra las aplicaciones prácticas de la OT para realizar una evaluación precisa de los humedales, centrándose en la utilización de esta información para actualizar la Ficha Informativa de Ramsar (FIR). También muestra algunos de los retos y limitaciones del uso de la OT para este fin.

Contexto y características ecológicas

El lago Burullus es una laguna salina de aguas someras en el litoral mediterráneo que contiene numerosas “islas e islotes conectados con el mar por un estrecho canal” (SISR, Lake Burullus). Es un hábitat crucial de invernada, descanso y reproducción para las aves y fue designado como sitio Ramsar en 1988 y posteriormente incluido en el Registro de Montreux en 1990 (SISR, Lake Burullus).

Presiones y amenazas

Las principales presiones sobre el humedal son la recuperación de tierras para la agricultura, la acuicultura y la urbanización. A consecuencia de ello, el sitio recibe grandes cantidades de agua contaminada con fertilizantes y pesticidas, que provocan el enriquecimiento de los nutrientes y la contaminación (FIR, Lake Burullus; van Valkengoed, 2018). Además, la entrada de agua dulce

procedente de las tierras circundantes puede estar disminuyendo por la creciente demanda de agua para fines económicos, tales como la expansión de la agricultura de regadío (*Ibid.*). Esto podría afectar a la salinidad y por ende a las características ecológicas del humedal (*Ibid.*).

Necesidades de información

No había ninguna manera sistemática de caracterizar las amenazas y los impactos sobre el lago Burullus y hacer un seguimiento de estos y existía la necesidad imperiosa de actualizar la FIR, que databa de 1992. La Autoridad Administrativa de Ramsar de Egipto, a saber, el Sector de Conservación de la Naturaleza del Organismo Egipcio de Asuntos Ambientales, colaboró con los proyectos GlobWetland-II (2010-2014), SWOS (2015-2018) y GlobWetland Africa (2015-2018) para apoyar la actualización de la FIR y el plan de gestión del lago Burullus con información de la OT sobre el estado y las tendencias de las características ecológicas del humedal (SISR, Lake Burullus; van Valkengoed, 2018; GW-A c).

Método de observación de la Tierra

En el marco del proyecto GlobWetland Africa, se elaboró un mapa del estado reciente del lago Burullus a partir de imágenes de Sentinel-2 adquiridas el 1 de mayo y el 15 de julio de 2016 (GW-A c; van Valkengoed, 2018). Se identificaron las localidades de muestreo mediante la interpretación visual de imágenes de muy alta resolución de Google Earth, en conjunción con una referencia de la base de datos local sobre la cubierta terrestre o el uso de la tierra. Estos conjuntos de datos se utilizaron para entrenar y calibrar un clasificador supervisado para elaborar un mapa de la distribución espacial de los principales tipos de humedales y el uso de las tierras circundantes (Figura 1 - arriba). El mapa del estado se complementó con una evaluación de los cambios a largo plazo en el lago Burullus a partir de imágenes adquiridas por la misión Landsat durante las décadas de 1990 y 2000 (Figura 1 - abajo).

El reciente mapa del estado brinda información sobre la presencia y el predominio de los principales tipos de humedales (sección 4.2 de la FIR en línea), mientras que los mapas de cambio aportan indicaciones de las principales amenazas para las características ecológicas del sitio (sección 5.2 de la FIR en línea). Por ejemplo, los cambios en el lago Burullus y sus alrededores incluyen un aumento drástico y continuado de la acuicultura durante el período entre 1990 y 2015-2016 (SISR, Lake Burullus; van Valkengoed, 2018). También se observa un aumento de la agricultura y las zonas artificiales durante el mismo período pero a un ritmo más moderado. Esos cambios se producen a expensas de los hábitats de ribera y también están asociados a una disminución global de la vegetación de marisma salada y la eutrofización del lago debido al aumento de la entrada de aguas residuales (procedentes de la extensa zona agrícola). Otros cambios son la ampliación de la red de carreteras y de los canales de drenaje a proximidad del lago.

En el proyecto GlobWetland Africa también se utilizaron datos de OT para caracterizar el régimen hídrico (es decir, el seguimiento de las fluctuaciones estacionales y la permanencia de las aguas superficiales en un humedal y sus alrededores; sección 4.4.4 de la FIR en línea), que es una parte importante de los rasgos físicos de un sitio (Figura 2).

La calidad del agua es otro rasgo físico que se puede observar a distancia. No obstante, en el caso del lago Burullus, la detección de los parámetros de calidad del agua a partir de la OT presenta dificultades. El bentos en las aguas someras y la presencia de muchas macroalgas influyen sobre la señal recibida por el sensor de satélite y se pueden interpretar erróneamente como la concentración de clorofila en la columna de agua si se utilizan algoritmos simplistas (GW-A c).

Recursos para los usuarios

Aunque se pueden utilizar muchos tipos distintos de datos de OT para apoyar la elaboración de mapas del uso de la tierra, las evaluaciones detalladas de humedales requieren datos de alta resolución espacial. En todos los ejemplos de este estudio de caso se utilizaron datos de las misiones Sentinel y/o Landsat, gracias a la política de datos libres y abiertos de los organismos responsables de su funcionamiento y la publicación de sus productos. La realización de mapas de clasificación y cambio del uso de la tierra y la cubierta terrestre a partir de la OT es facilitada por una gran variedad de programas informáticos de código abierto y patentados. Concretamente, juegos de herramientas de código abierto como GeoClassifier y GlobWetland Africa Toolbox tienen flujos de trabajo de procesamiento de los cambios en el uso de la tierra y la cubierta terrestre diseñados específicamente para aplicaciones de humedales.

Figura 1
Ejemplo de una evaluación reciente del estado del lago Burullus en Egipto derivada de imágenes de Sentinel-2 adquiridas entre 2015 y 2016 y de una evaluación de los cambios a largo plazo derivada de imágenes de Landsat adquiridas entre 1990 y 2010 *(Fuente: GlobWetland Africa (GW-A)).*

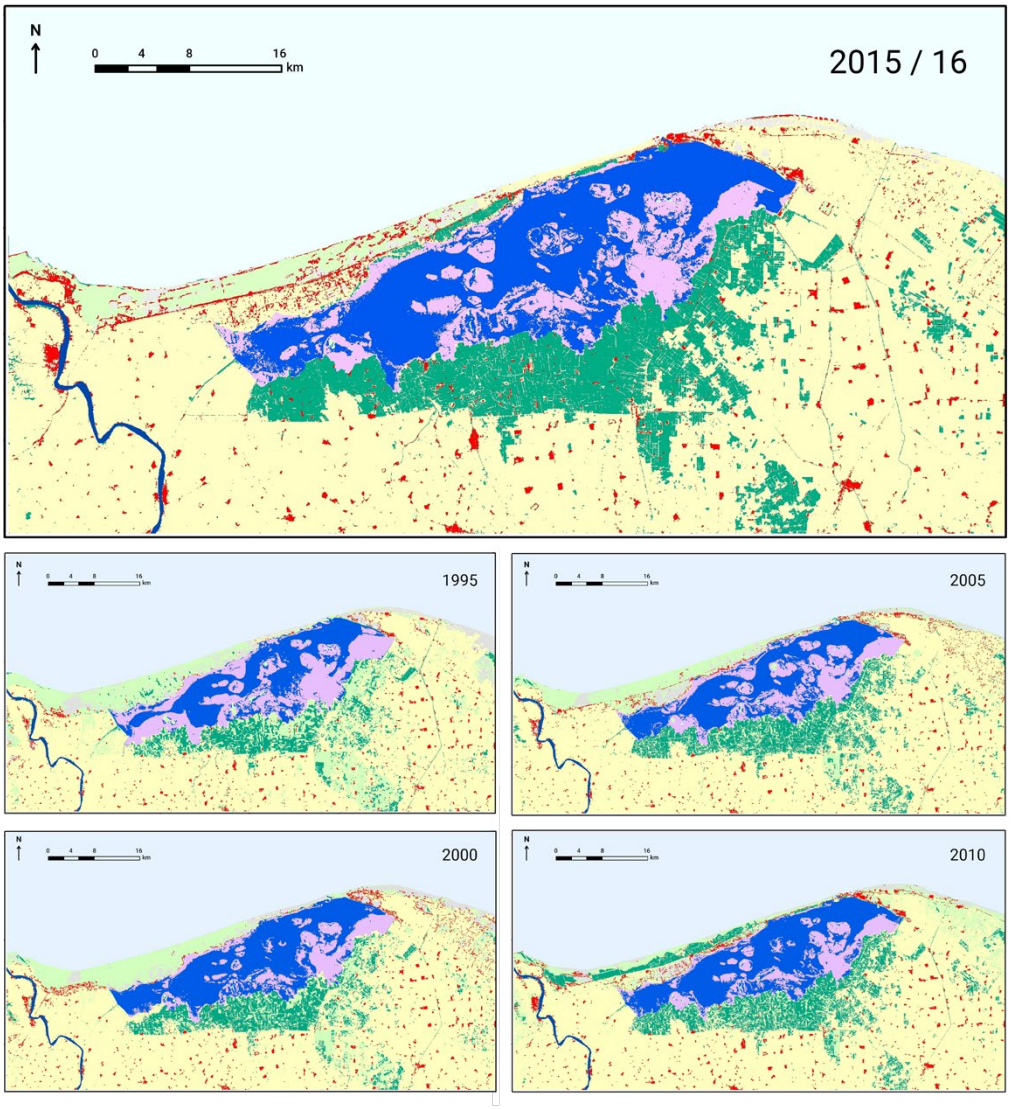
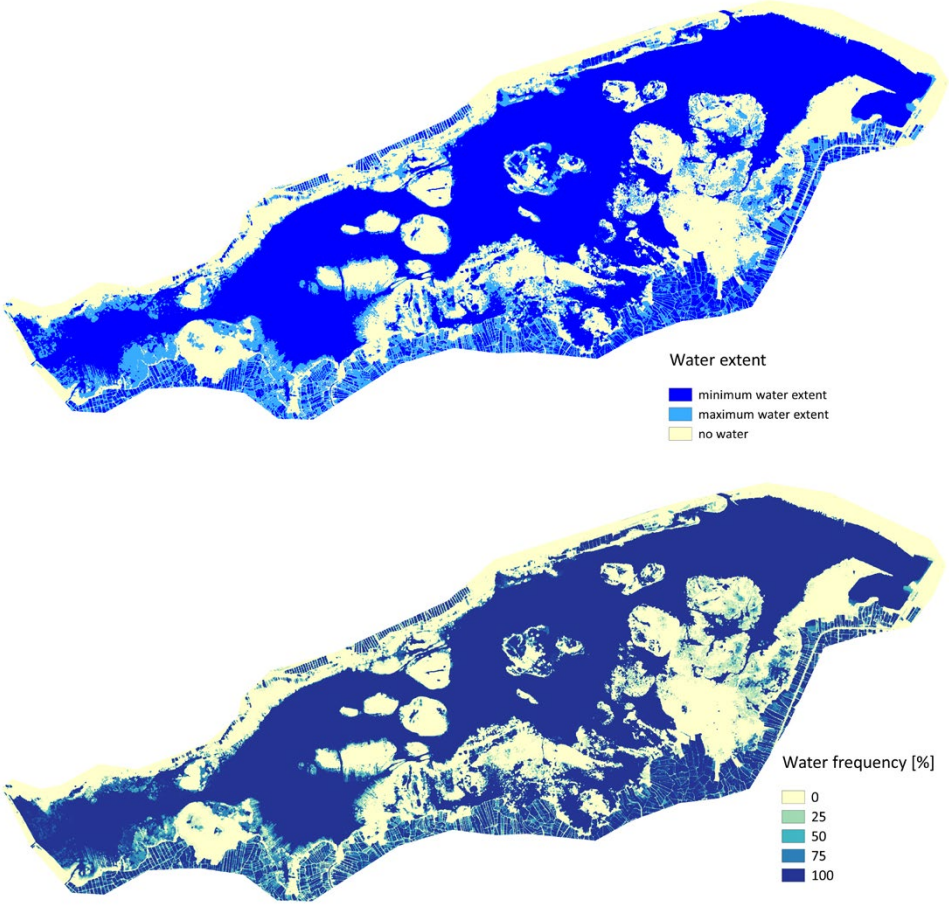


Figura 2
Extensión máxima y mínima del agua (arriba) a partir de imágenes de satélite de Sentinel-1/2 considerando todos los datos desde enero de 2016 hasta junio de 2017. La ilustración muestra que las aguas temporales se encuentran principalmente en las zonas acuícolas y agrícolas y por ende están más asociadas más al control del agua por el ser humano que a las fluctuaciones estacionales naturales. La frecuencia del agua (abajo), basada en mediciones mensuales mensuales, ilustra los cambios en el nivel del agua en mayor detalle. *(Fuente: GW-A).*



Ventajas y limitaciones

El estudio de caso del lago Burullus ilustra cómo la OT puede aportar productos de geoinformación normalizados y comparables sobre el estado y las tendencias de las características ecológicas de un humedal, facilitando la integración de la teledetección en la conservación y gestión de los humedales. Todos los mapas se han compartido con el Sector de Conservación de la Naturaleza del Gobierno de Egipto para su examen con la intención de utilizarlos como base para actualizar la información sobre el lago Burullus en el SISR.

Aunque la realización de mapas de los cambios en el uso de la tierra y la cubierta terrestre son algunos de los usos más comunes de los datos de OT, sigue habiendo dificultades para evaluar el estado actual y los cambios de los humedales a lo largo del tiempo. El seguimiento de las tendencias históricas y los cambios en los patrones de los humedales se complica por la falta de datos de media a alta resolución, particularmente del período anterior al año 2000. Se pueden obtener datos ópticos históricos de las misiones Landsat y SPOT, pero la cobertura nubosa persistente en algunas regiones hace que muchos de estos datos sean imposibles de utilizar. Por lo tanto, puede ser difícil distinguir entre aguas superficiales permanentes y temporales y humedales basándose en los datos históricos disponibles. Además, los autores subrayan que para ambientes complejos con distintos tipos de humedales, los datos obtenidos *in situ* y los conocimientos locales son fundamentales para respaldar el análisis de los datos de OT y en ocasiones son la única manera de obtener información sobre algunos tipos de humedales.

Estudio de caso 2

La OT para evaluaciones regionales o nacionales: los humedales costeros mediterráneos

Los datos de OT tienen la ventaja única de permitir el estudio y la evaluación de un gran número de humedales así como el muestreo de regiones extensas. Facilitan la evaluación de múltiples sitios de forma coherente utilizando los mismos métodos. El ejemplo que se describe a continuación ilustra las aplicaciones prácticas de la OT para realizar evaluaciones sobre el estado y las tendencias de los humedales a escala regional (en este caso, en la región del Mediterráneo). Se varios campos de datos de la FIR tales como la extensión y área del humedal (sección 2.2.4 de la FIR en línea), la presencia y el predominio de algunos tipos de humedales (sección 4.2 de la FIR en línea) y las características ecológicas generales (sección 4.1 de la FIR en línea).

Contexto y características ecológicas

La región mediterránea incluye los 28 países de la Iniciativa para los Humedales Mediterráneos (MedWet), una iniciativa regional de la Convención de Ramsar. La región contiene importante humedales de delta, tales como Doñana en España, la Camarga en Francia y el delta del Nilo en Egipto, así como lagos salados continentales de gran tamaño (los *chotts* y *sebkhas* en el Norte de África), oasis, lagunas temporales y marismas (MWO, 2012). El estado y la salud de estas áreas depende de la variabilidad del clima, que da lugar a grandes fluctuaciones interanuales en la extensión y las funciones de los ecosistemas.

Presiones y amenazas

El Mediterráneo es una de las regiones del mundo que están sujetas a las mayores presiones sobre los recursos hídricos (MWO, 2012; MWO, 2018; Naciones Unidas, 2016) y por consiguiente sobre los humedales. Esta presión es particularmente fuerte en las zonas costeras, en las que se concentra la mayoría de las construcciones residenciales y turísticas e infraestructuras de los países de MedWet (Plan Bleu, 2009). Tradicionalmente, la agricultura y la destrucción de los humedales para combatir el paludismo (eliminando las zonas de reproducción de los mosquitos) también han sido importantes factores impulsores de la pérdida de humedales. A consecuencia de estas presiones diversas y cambiantes, se están perdiendo humedales en la región desde hace al menos 2 000 años (Finlayson et al., 1992) y la tendencia continúa en la actualidad.

Necesidades de información

Hasta hace poco, no había forma de documentar la extensión y las tendencias del estado de los humedales mediterráneos a escala regional. Para facilitar una panorámica general de la situación actual a iniciativas regionales como MedWet y tratados como el Convenio para la protección del medio marino y la región costera del Mediterráneo (Convenio de Barcelona), se derivó de datos de OT información sobre las tendencias actuales (a partir de 1975). En 2014, en el marco del proyecto GlobWetland II de la Agencia Espacial Europea (ESA), el Observatorio de Humedales Mediterráneos acometió el análisis de una muestra de humedales mediterráneos costeros para cuantificar los cambios en su extensión (Véase MWO, 2014). Se realizó un análisis similar en todos los sitios Ramsar de Francia metropolitana en 2015-2016, demostrando que este ejercicio también se puede realizar a escala nacional (Perennou et al., 2016).

Método de observación de la Tierra

La evaluación del estado de 214 humedales costeros mediterráneos, incluidos sitios Ramsar, Áreas de Importancia para las Aves (IBA) y otros humedales notables, se basó en una serie de imágenes de Landsat de 1975, 1990 y 2005. Se realizó una validación de terreno, bien directamente en el campo para validar los tipos de humedales identificados a partir de los datos de OT o bien realizando comprobaciones con mapas locales de alta resolución de la cubierta terrestre. Se utilizó un clasificador supervisado (es decir, un procedimiento semiautomático y semimediado por el ser humano) para cartografiar la distribución espacial de los principales tipos de humedales y de uso de la tierra en los 214 sitios, que abarcaban hábitats de humedales y también de tierras de secano. La Figura 3 resume los resultados totales relativos a la superficie de los hábitats de humedal en los 214 sitios y la Figura 4 muestra un ejemplo de los cambios en un sitio concreto.

Figura 3
Evolución de los hábitats de humedal naturales y artificiales en una muestra de 214 sitios costeros mediterráneos. Los hábitats de humedal naturales perdieron el 13 % de su superficie en 30 años (1 624 km²). La superficie de los humedales artificiales aumentó en un 157 % (1 039 km²). *Fuente: trabajo en curso del MWO, adaptado de MWO, 2014.*

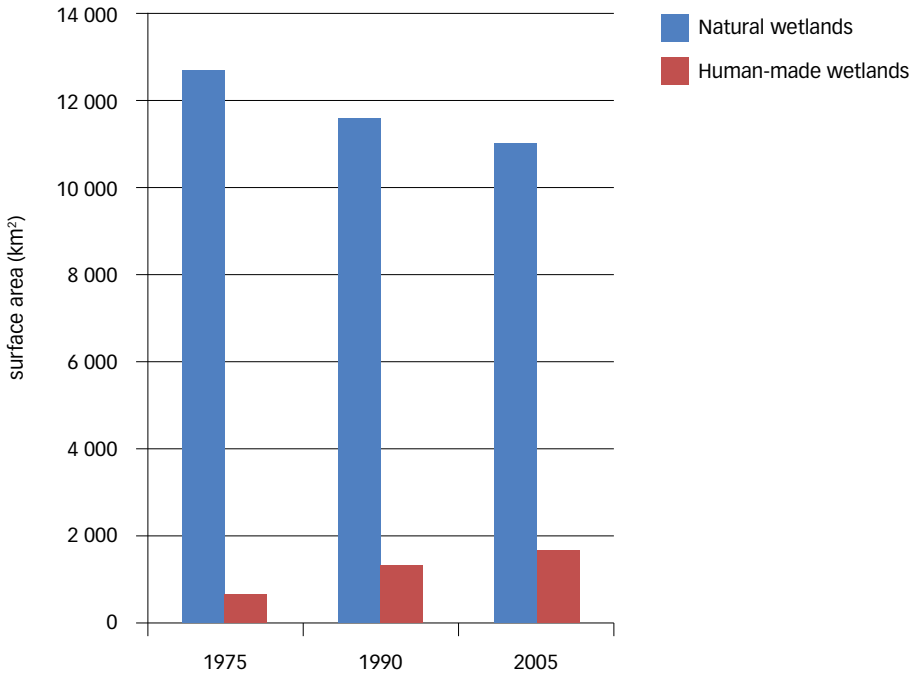
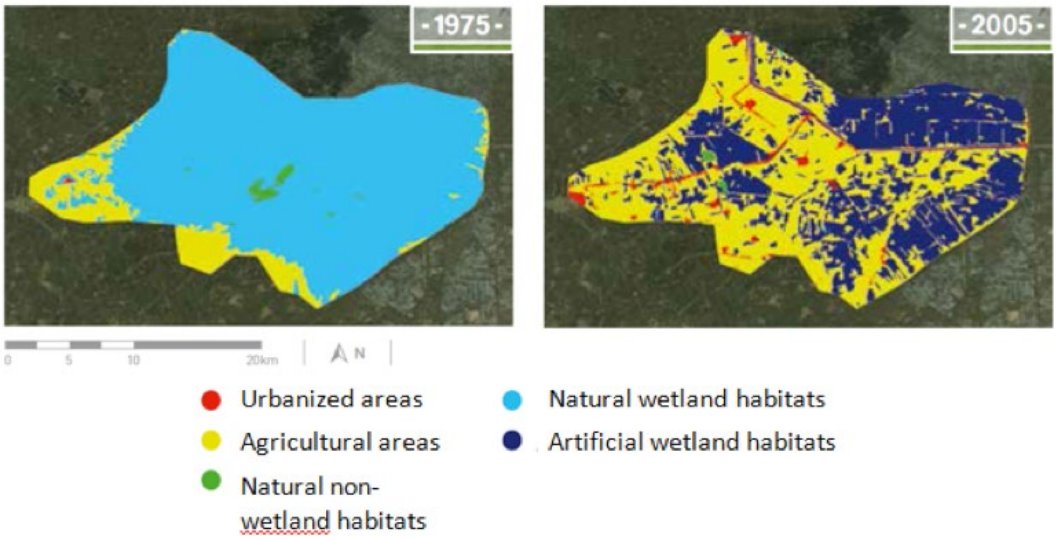


Figura 4
Cambios en la cubierta terrestre en el sitio Sinnéraé and San El E-Hagar en el delta del Nilo (Egipto). La mayoría de los hábitats de humedal naturales fueron convertidos en humedales artificiales y tierras de cultivo entre 1975 y 2005. *Fuente: MWO, 2014.*



Recursos para los usuarios

Muchos tipos de datos de satélite pueden ser útiles para elaborar mapas del uso de la tierra. Para evaluaciones detalladas de humedales se requieren datos de alta resolución espacial (es decir, con píxeles de pequeño tamaño, preferiblemente de 30 x 30 m o menos) (p. ej., MWO, 2014). En este estudio de caso se utilizaron datos de Landsat por la política de datos libres y abiertos y la disponibilidad de un archivo histórico (con datos desde los años 1970). A partir de 2015 se dispone de las imágenes de Sentinel (ESA). Para los datos de Landsat y Sentinel se han diseñado procedimientos específicos para detectar los cambios en la cubierta terrestre especialmente para aplicaciones de humedales y se han integrado en el juego de herramientas GlobWetland II, que se está mejorando actualmente para convertirse en el juego de herramientas SWOS, previsto para finales de 2018 (Osenga, 2016). El juego de herramientas SWOS es una colección gratuita de 22 herramientas para el

análisis de datos de satélites ópticos. Está disponible como software independiente y como juego de herramientas de ArcGIS (SWOSb). Se está desarrollando una versión QGIS en el marco del proyecto SWOS. Las herramientas sirven para usos tan variados como el preprocesamiento (corrección geométrica y radiométrica), la segmentación y clasificación de imágenes, la detección y el etiquetado de cambios y el cálculo de indicadores. El software se está mejorando continuamente (SWOSb).

Ventajas y limitaciones

Las limitaciones son esencialmente las mismas que las que se encuentran a escala de humedales concretos, descritas en el estudio de caso del lago Burullus (véase más arriba), con la particularidad de que para analizar una zona tan extensa fue necesario repartir el trabajo entre varios especialistas en OT, lo que dio lugar a diferencias en la interpretación de los resultados entre unos sitios y otros. No obstante, esto se resolvió gracias a un minucioso control de calidad de los mapas globales de los sitios y, en algunos casos, volviendo a analizar completamente las imágenes (Perennou et al., 2018). Al final, la cartografía de los cambios en la cubierta terrestre dio lugar a una panorámica general que se consideró aceptable teniendo en cuenta las imágenes disponibles.

La falta de suficientes imágenes explotables correspondientes a años concretos fue un problema principalmente en la realización de evaluaciones del período más antiguo (1975). Concretamente, la carencia de datos estacionales dificulta la discriminación entre tipos de hábitats con fiabilidad (p. ej., arrozales), pero esta limitación está disminuyendo ya que el período de revisita de los satélites ha aumentado mucho (Perennou et al., 2018). No obstante, sigue dificultando los análisis retrospectivos, aunque en muchos casos sería deseable una perspectiva histórica basada en comparaciones con el período entre las décadas de 1970 y 1980.

Estos análisis han resultado útiles para los países de MedWet. Han demostrado que continúa la pérdida de humedales en la región, pese a que todos los países son Partes Contratantes en la Convención de Ramsar. Por lo tanto, una importante recomendación basada en el resultado del análisis es que es necesario consolidar, aplicar y reforzar las políticas nacionales sobre humedales.

Estudio de caso 3

La OT para el seguimiento de lagos y embalses: el lago Victoria y el lago Volta

Este estudio de caso aporta ejemplos de cómo la OT puede contribuir al inventario, la evaluación y el seguimiento de un gran lago transfronterizo y un embalse, utilizando el lago Victoria y el lago Volta como ejemplos. En lo que respecta a la FIR, las metodologías de OT descritas en este estudio de caso aportan información para medir la calidad del agua y para mostrar los principales hábitats, la zonación y los cambios estacionales.

Contexto y características ecológicas

Los lagos y embalses son masas de agua que suelen ser ecosistemas muy productivos y con gran diversidad biológica (Schindler, 1978). Desde hace siglos los lagos desempeñan un papel crucial configurando la cultura e impulsando la economía local y regional. Aunque los embalses son esencialmente lagos artificiales, sustentan distintos conjuntos de procesos y servicios de los ecosistemas (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Los lagos y embalses son importantes para la regulación hídrica, el suministro de agua dulce, la pesca y la navegación. Además, los embalses pueden proporcionar energía hidroeléctrica y tanto los embalses como los lagos permiten el regadío. Al mismo tiempo, los embalses afectan al ecosistema fluvial fragmentándolo y cambiando el régimen de las inundaciones y el ciclo de los nutrientes, con efectos sobre los ecosistemas de humedales y las sociedades que se encuentran aguas abajo (McCully, 2001; Richter et al., 2010). En el contexto de Ramsar, los lagos y embalses están clasificados como uno de los siguientes tipos: humedales continentales: i) lagos permanentes de agua dulce de más de 8 hectáreas (O), ii) lagos estacionales/intermitentes de agua dulce (P) o charcas de menos de 8 hectáreas (Tp), o humedales artificiales: i) áreas de almacenamiento de agua (6) (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2012).

El lago Victoria, que es el segundo lago de agua dulce de mayor tamaño del mundo, es transfronterizo y compartido entre Uganda, Kenya y Tanzania (Ledang y Odermatt, n.d.). Forma parte de la cuenca del Nilo. La Convención ha puesto de relieve la obligación de las Partes Contratantes de cooperar en la gestión de los humedales que atraviesan los límites internacionales, con arreglo a los artículos 5 y 3.1 de la Convención (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 1994). En este sentido, la OT puede contribuir a la recopilación de información, el inventario y la evaluación de los valores y funciones de los humedales. En las riberas del lago Victoria se encuentran humedales extensos y lagos conectados entre sí, cinco de los cuales han sido designados como Humedales de Importancia Internacional (SISR).

El lago Volta es un gran embalse que se encuentra en su totalidad en Ghana. Fue finalizado en 1965 con el principal objetivo de proporcionar electricidad al país mediante energía hidroeléctrica. El lago es alimentado por tres afluentes principales: los ríos Volta Negro, Volta Rojo y Volta Blanco (AQUASTAT, 2005; ESAb).

Presiones y amenazas

Hay una gran diversidad de presiones que amenazan a las características ecológicas de los lagos y embalses y de las cuencas a las que pertenecen. Algunos ejemplos son la extracción excesiva de agua, la eutrofización, la contaminación, las infraestructuras hídricas inadecuadas, la sedimentación, la sobrepesca y las especies invasoras.

El lago Victoria está afectado por los cambios en el uso de la tierra, particularmente la deforestación así como la intensificación de la agricultura en su cuenca (Ledang y Odermatt, n.d.). Esto ha provocado un aumento de la sedimentación y la eutrofización en algunas partes del lago, lo cual a su vez ha causado el florecimiento de algas y episodios de muerte de peces, además de la mayor proliferación de especies invasoras como el jacinto de agua (*Ibid.*). Aunque esto es menos pertinente para un estudio de caso sobre teledetección, la rica y única biodiversidad del lago también se ha visto presionada desde la introducción de la perca del Nilo y la tilapia del Nilo, dos especies que fueron introducidas a finales de los años 1950 para la pesca comercial (*Ibid.*). Los humedales de la ribera del lago están amenazados por los cambios en el uso de la tierra y el drenaje para fines agrícolas (Birdlife International, 2013).

El lago Volta sufre una disminución de la disponibilidad de agua debido a los cambios en las precipitaciones y los patrones de escorrentía aguas arriba (Gyau-Boakye, 2001). Aguas abajo, los cambios en los patrones de sedimentación e inundación causados por la presa hidroeléctrica han dado lugar a una invasión de malezas acuáticas, una disminución de las capturas de pescado, una menor producción agrícola en las antiguas llanuras de inundación y una mayor prevalencia de enfermedades relacionadas con el agua como la esquistosomiasis (Gordon y Amatekpor, 1999).

Necesidades de información

Unas buenas prácticas en la gestión de los humedales requieren información actualizada y de buena calidad. Ambos estudios de caso necesitan un inventario de los humedales y la OT puede proporcionar información sobre la delimitación, los rasgos físicos del sitio y la cuenca así como los tipos de humedales existentes, los humedales predominantes y las características ecológicas. La descripción de las características ecológicas de los lagos y embalses también requiere información sobre la dinámica hídrica, por ejemplo, el nivel del agua así como su extensión, estacionalidad y calidad. Algunos aspectos de los cambios y tendencias de las características ecológicas de los lagos y embalses que puede medir la OT son las tendencias de la dinámica hídrica, es decir, el nivel del agua y los cambios en la extensión, la estacionalidad y la calidad de esta. Para gestionar un humedal transfronterizo como el lago Victoria de manera eficaz es necesario armonizar la información, las prácticas de gestión y la gobernanza entre las autoridades.

Método de observación de la Tierra

La OT es una tecnología adecuada para satisfacer las necesidades de información sobre parámetros relativos al nivel, la extensión, la estacionalidad, la temperatura y la calidad del agua, así como aspectos temporales como la dinámica de las aguas superficiales y los cambios en la calidad del agua. Para definir el contorno de un lago o embalse, se puede elaborar un mapa de la extensión del agua utilizando distintos métodos, basados en tipos de sensores pasivos (Huang, 2018) o activos (Bioresita, 2018) La utilización conjunta de sensores ópticos y de radar facilita el seguimiento de la dinámica de los ecosistemas acuáticos explotando las ventajas respectivas de ambos tipos de sensores y aumentando la frecuencia de las observaciones en una determinada localidad. Los juegos de herramientas de SWOS y GlobWetland Africa incluyen herramientas que utilizan conjuntamente datos de radar y ópticos para cartografiar los regímenes de inundación de los humedales. El Centro Común de Investigación (JRC) de la Unión Europea y Deltares poseen dos conjuntos de datos mundiales de alta resolución sobre la extensión, los cambios y la estacionalidad del agua que se pueden consultar.

Figura 5
Recurrencia interanual del agua entre 1984 y 2015 en el afluente Volta Negro del lago Volta; esta oscila entre nunca (naranja) y cada año (azul) *(EC JRC/ Google, 2016).*

Los altímetros instalados en satélites son un tipo de radar que se utiliza para medir las variaciones en la altura del océano pero también pueden medir las variaciones en cualquier masa de agua de gran tamaño (ESA, 2018). Jason-3 es una misión de altimetría mediante un satélite diseñada para derivar mapas de la altura de las masas de agua con una precisión de unos 3 cm (figuras 5 y 6). Aunque el tratamiento de datos de altimetría requiere una especialización, se pueden obtener fácilmente datos sobre las variaciones en el nivel del agua de muchos lagos y embalses grandes a través de la iniciativa *Global Reservoirs and Lake Monitor*, financiada por la NASA y el Departamento de Agricultura de los EE. UU. El nuevo satélite Sentinel-3 de la ESA también cuenta con un sensor de altimetría a bordo, que aportará mucha información una vez que esté operativo gracias a su cobertura mundial, a diferencia de la cobertura estrecha de tipo transecto de los altímetros anteriores.

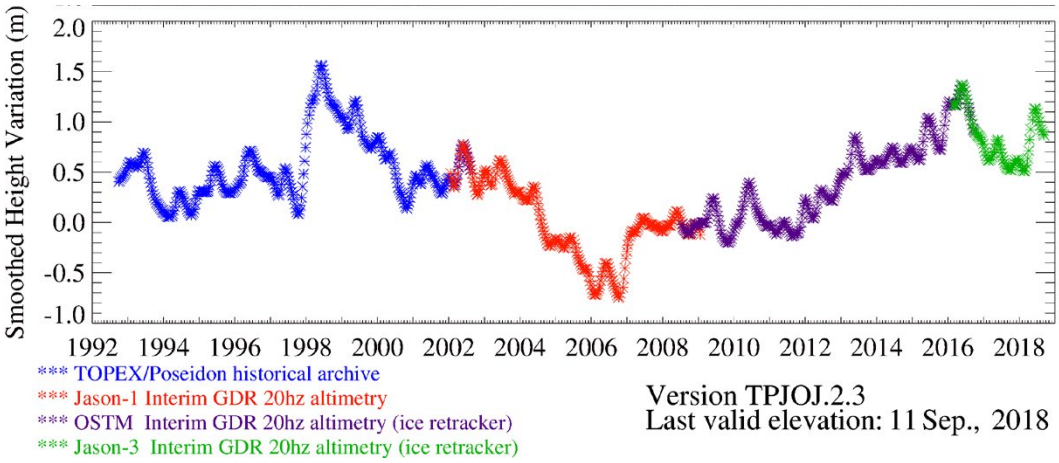


Figura 6
Variación a largo plazo del nivel del agua en el lago Victoria medida por altímetros en satélites durante períodos consecutivos *(USDA Global Reservoirs and Lakes Monitor (6))*.

Muchos parámetros relativos a la calidad del agua son difíciles de medir desde el espacio. No obstante, con la OT se pueden medir algunos parámetros clave de la calidad de las aguas continentales que se pueden utilizar para describir las características ecológicas de un humedal y realizar su evaluación o seguimiento. Algunos ejemplos son la concentración de clorofila α (Figura 7), la concentración de materia en suspensión, la materia orgánica disuelta, el florecimiento de cianobacterias y la temperatura superficial del agua (Gholizadeh et al., 2016). Estos parámetros son sustitutos de la eutrofización, la perturbación y contaminación. El método y las herramientas son adecuados solo para usuarios avanzados y para obtener buenos resultados es crucial realizar una calibración utilizando datos locales.

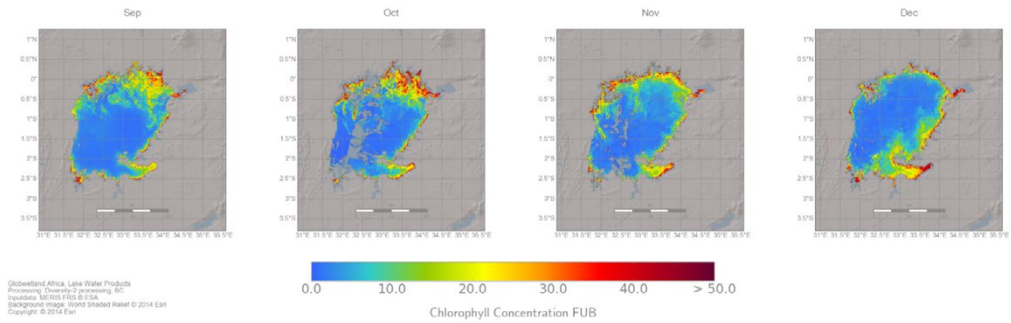


Figura 7
Serie cronológica de la concentración de clorofila (algoritmo FUB; Free University of Berlin) en el lago Victoria en 2008. Los mapas de concentración de la clorofila se pueden utilizar como sustitutos de la abundancia de fitoplancton y biomasa de algas, que son un indicador de la eutrofización (nota: las áreas grises representan tierra y/o nubes). Imagen elaborada utilizando datos de MERSIS. *Fuente: GlobWetland Africa.*

Aparte de la temperatura superficial del agua, que tiene una precisión aceptada a nivel de subgrados, los parámetros de calidad del agua derivados de la OT son intrínsecamente difíciles de validar ya que dependen mucho del entorno específico del lago y en el caso de la mayoría de los lagos faltan datos obtenidos *in situ* para la validación. No obstante, la experiencia general de la aplicación de la OT para derivar información sobre la calidad del agua muestra que los resultados suelen ser acordes a los patrones espaciotemporales previstos y estar en consonancia con los datos publicados (Gholizadeh, M. H. et al., 2016). En resumen, los datos sobre la calidad del agua basados en la OT no deberían reemplazar a los datos obtenidos *in situ* (la disponibilidad de estos últimos es esencial para calibrar y validar el algoritmo de recuperación) sino servir de complemento de estos, ofreciendo soluciones eficaces en función de los costos. De hecho, los productos sobre calidad del agua basados en la OT constituyen una ampliación en el tiempo y el espacio de las mediciones de campo convencionales y pueden captar la variabilidad espaciotemporal de los principales parámetros sobre la calidad del agua de los lagos con mayor precisión que los programas de seguimiento continuado.

Recursos para los usuarios

Los usuarios disponen de varios recursos. Los juegos de herramientas elaborados por los proyectos SWOS[3] y GlobWetland Africa[4] brindan herramientas y orientaciones para delimitar los humedales así como la extensión de las masas de agua abiertas. También contienen herramientas para cartografiar la

3 Véase http://swos-service.eu.
4 Véase http://globwetland-africa.org/.

dinámica hídrica a lo largo del tiempo. El proyecto Diversity II[5] así como los juegos de herramientas de SWOS y GlobWetland Africa ya mencionados incluyen herramientas para la evaluación de la calidad del agua.

La iniciativa *Global Reservoir and Lakes Monitor*[6] proporciona gratuitamente información sobre el nivel del agua de muchos grandes lagos y embalses casi en tiempo real y con gran precisión. El Centro Común de Investigación de la UE ha elaborado mapas de alta resolución de la presencia, los cambios, la estacionalidad y la recurrencia de las aguas superficiales, que están disponibles en Global Surface Water Explorer[7]. El instituto de investigación neerlandés Deltares ha elaborado una serie temporal de 30 años de los cambios en las aguas superficiales que está disponible a través de AquaMonitor[8].

Ventajas y limitaciones

Como queda demostrado, la OT es particularmente útil para obtener información pertinente sobre la extensión, el nivel, los cambios y la estacionalidad del agua. No obstante, la adopción de un método concreto de OT debe adaptarse al área de interés en cuestión para proporcionar los datos y la información esperados. Una dificultad pertinente es la elaboración de mapas de la vegetación flotante y las zonas inundadas por debajo del dosel (Rosenqvist et al., 2007), que son difíciles de detectar utilizando solo datos ópticos y/o de SAR en banda C. Para esos fines pueden ser útiles los datos de SAR en banda L como ALOS 2 pero se trata de un método avanzado y los datos no son gratuitos. Se prevé que mejore la utilización de altímetros de radar G-REALM, cuya cobertura actual es limitada, con datos de Sentinel 3 sobre el nivel de las aguas superficiales, la temperatura de la superficie del lago y otros parámetros de calidad del agua. Las herramientas y metodologías para medir la calidad del agua son bastante avanzadas y para medir los parámetros de calidad de agua en valores absolutos en vez de relativos se necesita recoger datos de calibración recogidos en campo los días de adquisición de imágenes de OT.

Estudio de caso 4 La OT para cartografiar los manglares y evaluar sus cambios

El ejemplo que se describe a continuación ilustra las aplicaciones prácticas de la OT para cartografiar la extensión o el área de los manglares y sus cambios a lo largo del tiempo. También muestra cómo los datos pueden aportar información sobre la presencia y el predominio de los manglares en un sitio concreto.

Contexto y características ecológicas

Los manglares son ecosistemas forestales intermareales distribuidos en todo el mundo, aproximadamente entre las latitudes 32° Norte y 39° Sur. Están clasificados como humedales marinos y costeros (humedales intermareales arbolados de tipo I) en el Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales de Ramsar (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2002; Lucas et al., 2014). Los manglares realizan funciones cruciales a escala del paisaje relacionadas con la regulación del agua dulce, de los nutrientes y del aporte de sedimentos a las zonas marinas. Ayudan a controlar la calidad de las aguas costeras marinas y tienen una importancia crítica por ser lugares de reproducción y crecimiento de aves, peces y crustáceos. A escala mundial, casi dos tercios de los peces que se pescan en el medio marino dependen en última instancia del estado de salud de los ecosistemas costeros tropicales (Lucas et al., 2014). Los manglares reciben grandes aportes de materia y energía de la tierra y el mar y son importantes depósitos de carbono (Lucas et al., 2014).

Presiones y amenazas

En el pasado los manglares eran abundantes en los litorales tropicales y subtropicales del planeta. Sin embargo, están disminuyendo a un ritmo similar al de los bosques terrestres (naturales), habiéndose perdido entre el 4 % y el 5 % de la cubierta mundial en las dos últimas décadas (FAO, 2015). Los principales factores impulsores del cambio son la destrucción para la acuicultura, la agricultura, la explotación de energía y otras actividades industriales (Thomas et al., 2017). Se desconoce qué porcentaje de los manglares que quedan están fragmentados y degradados. Los manglares también son sensibles a efectos del cambio climático como el aumento del nivel del mar, los extremos de temperatura y el área de distribución geográfica así como los cambios en la hidrología.

Necesidades de información

La información sobre el estado y las tendencias de cambio de los manglares a escala nacional y mundial es limitada. Esto se debe en parte a que los manglares a menudo se sitúan a caballo entre las administraciones nacionales responsables de los humedales y los bosques y en parte a su ubicación, que suele ser remota e inaccesible y hace que la elaboración de mapas y el seguimiento periódicos mediante métodos convencionales sean costosos y requieran mucho tiempo. Desde 2018, las Partes

5 Véase http://www.diversity2.info.
6 Véase https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/global_embalse/.
7 Véase https://global-surface-water.appspot.com/.
8 Véase http://aqua-monitor.deltares.nl/.

Contratantes de Ramsar tienen que presentar informes sobre los cambios en la extensión de los ecosistemas relacionados con el agua a lo largo del tiempo (SDG 6.6.1), con inclusión de los manglares (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2018). Además, los manglares están categorizados como bosques en el marco del programa REDD+ (reducción de las emisiones debidas a la deforestación y la degradación forestal en los países en desarrollo, así como la conservación, la gestión sostenible y de los bosques y el aumento de las reservas de carbono de los bosques en los países en desarrollo) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UICN, 2017) y por lo tanto deberían incluirse en los informes nacionales sobre las emisiones.

Método de observación de la Tierra

Un ejemplo de un sistema funcional a escala nacional basado en la OT para elaborar mapas de los manglares y hacer un seguimiento de estos es el Sistema de Monitoreo de los Manglares de México (SMMM). Este sistema, que se inició en 2005 y se lleva a cabo cada cinco años, está basado en el tratamiento manual por intérpretes expertos de datos de satélites ópticos (SPOT-5) con una resolución de diez metros. Hacen falta aproximadamente 130 escenas de SPOT para lograr una cobertura nacional de los manglares mexicanos (CONABIO, 2018). Los mapas de manglares resultantes tienen una escala de 1:50 000 con una unidad mínima cartografiable de una hectárea (*Idem*). Los mapas se validan utilizando fotografías aéreas (de helicóptero) de muy alta resolución. Para minimizar errores de interpretación y garantizar la coherencia entre mapas de las distintas épocas, las actualizaciones se realizan interpretando los cambios en comparación con el mapa de la época anterior (CONABIO, 2018, Rodríguez-Zúñiga et al., 2012).

Lógicamente, cuando se dispone de recursos financieros y humanos, la mejor opción es establecer un sistema nacional de seguimiento o monitoreo de los manglares como el SMMM, que está basado en la interpretación de datos geoespaciales de alta resolución por un equipo de expertos locales. Cuando esto no es posible, la utilización de conjuntos de datos mundiales sobre los manglares puede ser un sustituto práctico o un punto de inicio.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) ha generado mapas mundiales de la extensión de los manglares durante el período 1997-2000 (véase Giri et al., 2011) derivados de datos de satélites ópticos (Landsat) con una resolución de 30 metros. La Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT) y la Sociedad Internacional para los Ecosistemas de Manglar (ISME) lo han hecho para el período 1999-2003 (véase Spalding et al., 2010), basándose en una combinación de datos satélites ópticos y estadísticas nacionales procesados por el Centro Mundial de Vigilancia de la Conservación de ONU Medio Ambiente (PNUMA-CMVC) o la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En el caso de varios países, se incorporaron datos existentes (WCMC-012, 1997) o recientemente disponibles (vectoriales). Ambos conjuntos de datos son de dominio público y brindan una panorámica general de la distribución geográfica de los manglares del mundo al inicio del nuevo milenio.

Se ha generado una serie temporal de mapas de la extensión mundial de los manglares en el marco del proyecto *Global Mangrove Watch* (GMW) (Bunting et al., 2018). Se trata de un proyecto de colaboración internacional establecido en el marco del programa científico *Kyoto and Carbon Initiative* de la JAXA y del programa *Mangrove Capital Africa* de Wetlands International. Se estableció para brindar información geoespacial sobre la extensión y los cambios en los manglares a profesionales, responsables de la toma de decisiones y ONG en el ámbito de los humedales.

La serie temporal de mapas está basada en los mosaicos de datos mundiales con una resolución de 25 metros de los satélites japoneses de radar (JERS-1, ALOS y ALOS-2) y datos de satélites ópticos (Landsat). Los mosaicos de radar, los datos de Landsat y los mapas de manglares derivados de ellos están públicamente disponibles de forma gratuita[9]. Algunas de las ventajas de utilizar radares de satélite es la capacidad de las señales de microondas (radar) para penetrar en las nubes y la neblina, que suelen ser un factor limitante en las zonas costeras propensas a las nubes y en regiones afectadas por incendios extensos y persistentes, tales como Sumatra y Kalimantan, en Indonesia. Así, se pueden generar mapas derivados de sensores de radar en una pequeña ventana temporal que suele ser de unos pocos meses, lo cual es preferible para minimizar efectos estacionales cuando se comparan observaciones a lo largo de varios años. En cambio, una de las ventajas de los datos de satélites ópticos es que pueden distinguir mejor entre distintos tipos de vegetación y por consiguiente delimitar el límite del manglar con otros tipos de tierras con mayor precisión (Bunting et al., 2018).

Hasta la fecha (octubre de 2018), el proyecto GMW ha elaborado mapas de la extensión mundial de los manglares (Figura 8a) durante siete épocas: 1996, 2007, 2008, 2009, 2010, 2015 y 2016, de los que se pueden derivar los mapas de cambio correspondientes (Figura 8b). Está previsto publicar el mapa de 2017 a finales de 2018 y mapas anuales en lo sucesivo. En el caso de sitios Ramsar, estos conjuntos de datos proporcionan la información necesaria para describir la extensión y superficie del humedal, la presencia y el predominio de los manglares en este y las características ecológicas generales (zonación, variaciones estacionales y cambios a largo plazo) (GMW).

---

9 Se puede acceder a los mosaicos de radar en https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/palsar_fnf/data/index.htm y a los datos de Landsat en https://landsat.usgs.gov/landsat-data-access.

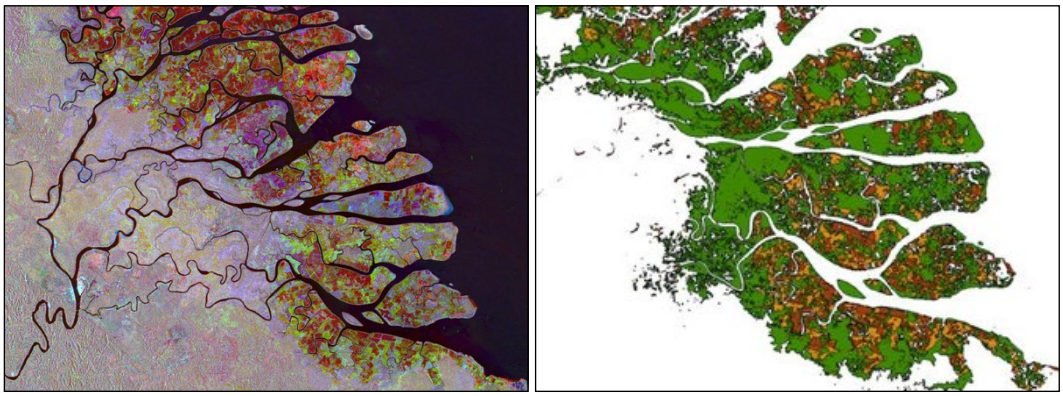


Figura 8
Delta del río Kahan, Kalimantan Septentrional (Indonesia). 8a (izquierda): Compuesto de imágenes multitemporales de radar (1996 JERS-1 SAR y 2016 ALOS-2 PALSAR-2); 8b (derecha): Extensión y cambios en los manglares; rojo – manglares perdidos entre 1996 y 2007; naranja – manglares perdidos entre 2007 y 2016; verde – cobertura de manglares en 2016. © *JAXA/METI.*

Recursos para los usuarios

Todos los mapas de manglares a los que se hace referencia en este ejemplo son del dominio público (véase el Cuadro 2).

Cuadro 2: **Información sobre los mapas utilizados para cartografiar y evaluar los manglares**

Año de base	Datos de base	Fuente	Referencia	Disponible en
1996	JERS-1 SAR (de radar) 1996	Global Mangrove Watch	Bunting et al. 2018	https://www.globalmangrovewatch.org/datasets/ UNEP-WCMC Ocean Data Viewer
2000	Landsat (ópticos) 1997-2000	USGS	Giri et al. 2011	http://data.unep-wcmc.org/datasets/4
2000	Estadísticas nacionales, datos de Landsat (ópticos) 1999-2003	OIMT/ ISME	Spalding et al. 2010	http://data.unep-wcmc.org/datasets/5
2007 2008 2009 2010	ALOS PALSAR (de radar) 2007-2010 y de Landsat (ópticos) 2010	Global Mangrove Watch	Bunting et al. 2018	https://www.globalmangrovewatch.org/datasets/ http://data.unep-wcmc.org/datasets/45
2015 2016	ALOS-2 PALSAR-2 (de radar) 2014-2016	Global Mangrove Watch	Bunting et al. 2018	https://www.globalmangrovewatch.org/datasets/ http://data.unep-wcmc.org/datasets/45

Ventajas y limitaciones

La OT es un medio eficaz para realizar mapas y un seguimiento periódicos de los manglares a escala regional o mundial de manera uniforme cuando se utiliza el mismo tipo de datos y de algoritmos de clasificación en todas las áreas durante varias épocas. Esto permite realizar una comparación más sólida de su extensión entre distintos países y regiones y analizar mejor las tendencias del cambio a lo largo del tiempo que cuando se comparan datos obtenidos de distintas fuentes.

Sin embargo, no sería sensato esperar que los conjuntos de datos mundiales como los que se han descrito en este estudio de caso puedan lograr el mismo nivel de precisión en todas partes que un mapa a escala local derivado mediante estudios terrestres y la utilización de datos geoespaciales de muy alta resolución espacial, tales como el SMMM de México, descrito anteriormente. Cuando se realiza una cartografía de determinadas áreas a escala mundial utilizando datos y métodos coherentes (aunque se complementen con datos terrestres para su calibración y validación) suele ser necesario aceptar una cierta pérdida de precisión a escala local. No obstante, se pueden mejorar los mapas mundiales a escala local (o nacional) incorporando una mejor información (datos obtenidos *in situ* y datos aéreos o de drones) para el entrenamiento y la reclasificación.

Todos los datos de satélite y programas informáticos de clasificación[10] utilizados en el GMW son gratuitos y de código abierto. Los usuarios no experimentados pueden utilizar los mapas del GMW sin modificarlos, mientras que los usuarios experimentados pueden replicar o mejorar las clasificaciones utilizando información local de mejor calidad.

Estudio de caso 5

La OT para realizar inventarios nacionales de humedales

Hasta la fecha, muchos inventarios nacionales de humedales son recopilaciones de sitios considerados importantes por distintas razones, por ejemplo, por reunir los criterios para su designación como sitios Ramsar. No obstante, esos inventarios no abarcan todos los humedales nacionales. Es posible que no se hayan cuantificado muchos humedales pequeños, pero si se toman en su conjunto representan un componente importante de este hábitat y realizan funciones y servicios de los ecosistemas considerables. El método que se describe en el presente estudio de caso fue desarrollado para realizar un inventario nacional completo de los humedales de Myanmar en el marco de una iniciativa conjunta entre este país y Noruega. Se basa en la creciente disponibilidad de capas de datos de teledetección interpretadas para evaluar el tamaño y la distribución de todos los humedales del país. De esta forma se define el contexto para determinar qué humedales son de importancia nacional e internacional a fin de contribuir a la aplicación de una política nacional de humedales.

Contexto y características ecológicas

La Convención de Ramsar ha reconocido reiteradamente que los inventarios exhaustivos de humedales son una variable esencial que constituye un prerrequisito para el uso racional de los humedales mediante la gestión de las actividades humanas y el mantenimiento de las características ecológicas de los humedales (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2010a).

Si no se tiene un conocimiento de dónde se encuentran los humedales de un país y de qué tipos de humedales se trata, es posible que las decisiones que afectan a los humedales no contribuyan a asegurar su uso racional. Además de proporcionar una sólida base de conocimientos sobre el tamaño y la distribución total del recurso de humedales de Myanmar, el inventario también contribuirá a determinar cuáles son los humedales de importancia internacional del país con miras a su futura designación como sitios Ramsar.

Presiones y amenazas

Los recientes cambios en la situación política de Myanmar y la progresiva apertura del país conllevan un rápido aumento de las presiones del desarrollo económico. En la Política Nacional de Humedales de Myanmar (cuarto borrador, agosto de 2017) se reconocen muchos factores impulsores de los cambios en las características ecológicas de los humedales del país (McInnes et al., 2016). Entre estos se figuran las especies invasoras, la sobrepesca y la pesca ilegal, el depósito de sedimentos, el drenaje y la recuperación de tierras para otros usos, el sobrepastoreo, la expansión de las tierras agrícolas, la intrusión de agua salada, la desecación, la captura de aves, los asentamientos ilegales, la expansión de la acuicultura, la contaminación, la minería, la caza, la deforestación de las cuencas, la erosión y la construcción de presas en ríos prístinos. Se considera que las causas subyacentes de estos factores son el aumento de la demanda de recursos por el crecimiento de la población y el rápido crecimiento económico, el gran número de personas con pocos recursos económicos que dependen mucho de los recursos naturales, el cambio climático, la debilidad de las medidas de protección ambiental, la poca sensibilidad del público y el gobierno y la coordinación y evaluación deficientes de los impactos de las actividades de desarrollo.

Necesidades de información

En un inventario de los humedales de Myanmar realizado en 2004 se incluyeron 99 humedales en algunas partes del país, pero falta un inventario completo. El Gobierno ha reconocido que para mejorar su capacidad de aplicar la Convención de Ramsar es prioritario realizar un inventario nacional exhaustivo de los humedales (McInnes et al., 2016).

El inventario de Myanmar debe incluir todos los tipos de humedales (continentales y costeros así como naturales y artificiales) que corresponden al alcance de la Convención de Ramsar. Esto incluye la extensión y distribución de los humedales marinos costeros someros (con una profundidad de inundación permanente de hasta 6 metros), un importante tipo de humedales que rara vez o nunca se ha incluido en los inventarios nacionales de humedales (Finlayson et al., 1999).

Método de observación de la Tierra

El inventario de humedales de Myanmar forma parte de un importante proyecto nacional sobre la conservación de la biodiversidad y la mejora de la gestión de las áreas protegidas del país, que incluye

10 Véase https://rsgislib.org/.

un plan de acción para lograr una mejor gestión y un uso racional de los humedales valiosos, iniciado en 2016 y apoyado por el Gobierno de Noruega (McInnes et al., 2016).

El método consiste en varias fases. La primera (2016 a 2018) es obtener la mayor diversidad posible de capas de datos espaciales pertinentes para los humedales y superponerlas (McInnes et al., 2016). Entre estas capas se incluyen un Modelo Digital de Terreno (MDT) de la Misión Topográfica Shuttle Radar (SRTM), HydroBasins para cuencas hidrográficas, redes de ríos y lagos, datos batimétricos de zonas costeras y datos de la cubierta terrestre de MODIS 2012, además de nuevas capas de datos conforme estén disponibles, tales como los mapas de la cubierta terrestre basados en datos de Landsat del Instituto Internacional para el Manejo del Agua (IWMI), manglares del proyecto GMW de la JAXA, zonas intermareales de la Universidad de Nueva Gales del Sur y distintas capas de datos que posee el Gobierno de Myanmar (Ibid.).

Sobre estos datos relativos a los humedales a escala nacional se han superpuesto varias fuentes organizadas de forma espacial en las que se muestran humedales importantes, con archivos Shapefile de sus límites en los casos posibles. Algunas de estas fuentes son el Directorio de Humedales de Asia, de 1989, el inventario de Myanmar de 2004, las Áreas Importantes para las Aves y la Biodiversidad (IBA), las Áreas Clave para la Biodiversidad (KBA) y otras fuentes publicadas sobre humedales concretos (*Ibid.*).

El inventario se está generando mediante el programa ArcGIS, recopilando datos en el formato ArcGIS existente y digitalizando las zonas de humedales a partir de imágenes de satélite cuando se dispone de muy poca información espacial, por ejemplo solo un punto central de latitud y longitud o una extensión aérea entre dos o más puntos de latitud y longitud. Se están analizando otros datos en formato raster (es decir, una cuadrícula de píxeles de igual tamaño) tales como los datos de la cubierta terrestre de MODIS. La finalidad es extraer unidades concretas de cubierta terrestre (p. ej., masas de agua), compararlas con imágenes de satélite y digitalizar la cobertura completa de la imagen a partir de la ubicación de cada píxel. Algunas áreas de las que no existen mapas se derivarán utilizando datos sustitutivos. Por ejemplo, se están identificando humedales que son inundados estacionalmente por ríos mediante una rutina de modelización de la extensión de las inundaciones en ArcGIS a partir del MDT subyacente.

Además, la superposición de capas de información espacial sobre las ecorregiones (Marine Ecoregions of the World (véase Spalding et al., 2007) y Freshwater Ecoregions of the World (Véase Abell et al., 2008)) que incluyen a Myanmar contribuirá a la identificación de los humedales de importancia internacional con arreglo a los criterios 1 y 3 de designación de sitios Ramsar.

Los conjuntos de datos se categorizarán en clases de humedales concretos como ríos, lagos naturales, lagos artificiales, arrozales, zonas inundadas estacionalmente, turberas, manglares, bajos de lodo y arrecifes de coral (McInnes et al., 2016). Se resumirán el número y la superficie total de los humedales de cada clase por regiones, zonas de agua dulce o ecorregiones marinas y cuencas hidrográficas principales de Myanmar (*Ibid.*).

Después de la primera fase habrá otras (de 2019 en adelante) para: a) resolver discrepancias en la distribución espacial de humedales según distintas fuentes y b) establecer una estrategia para la verificación sobre el terreno de humedales seleccionados para abarcar todas las regiones de Myanmar y todos los tipos de humedales representados en el país (*Ibid.*).

Otra fase ulterior es analizar los datos espaciales recopilados para presentar informes sobre el tamaño y la distribución de los humedales costeros y continentales del país en total y de los distintos tipos de humedales, identificando humedales particularmente importantes entre ellos (*Ibid.*).

Recursos para los usuarios

El inventario de humedales de Myanmar se presentará como un inventario nacional de humedales en línea basado en SIG y alojado y gestionado por el Ministerio de Recursos Naturales y Conservación del Medio Ambiente de Myanmar. Se pondrá a disposición de los usuarios.

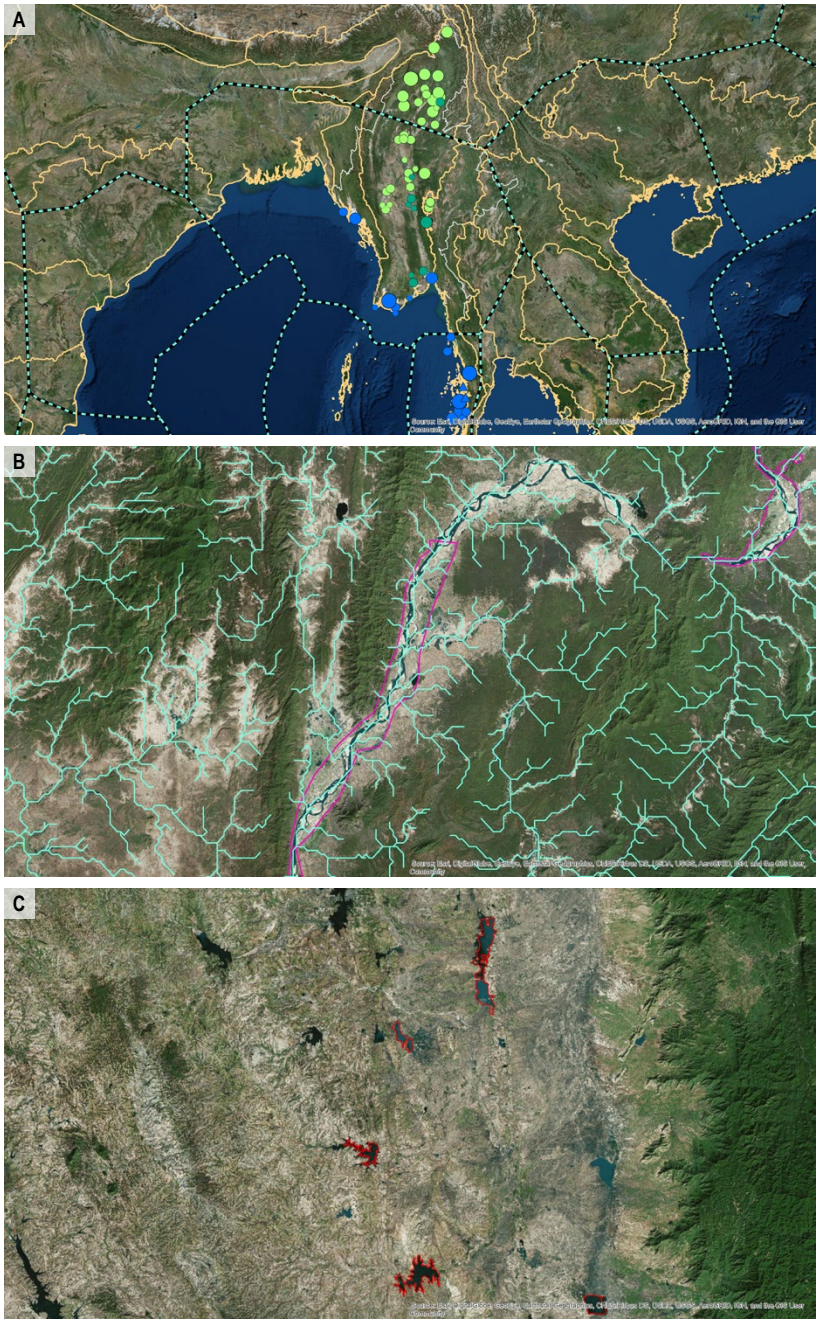
El inventario espacial estará apoyado por una base de datos de los sitios, que será elaborada y armonizada con la estructura y el contenido de la FIR.

Ventajas y limitaciones

El inventario será un recurso que mejorará la base del conocimiento sobre los humedales de los funcionarios gubernamentales para su futura toma de decisiones sobre estos y su uso racional y apoyará la labor de las ONG y la sociedad civil a favor de la conservación y el uso racional de los humedales. Contribuirá directamente a mejorar el trabajo paralelo que se está llevando a cabo en Myanmar para desarrollar una estrategia nacional y prioridades para la identificación y designación futura de sitios Ramsar.

Está previsto que el método del inventario de humedales de Myanmar se pueda transferir fácilmente a otros países que necesiten realizar (o actualizar) un inventario exhaustivo de sus humedales. En la Figura 9 se presenta un ejemplo de los productos previstos.

Figura 9
Tres ejemplos de productos preliminares del inventario de humedales de Myanmar.
A). Ubicación y tamaño de los humedales de importancia internacional comprobados o posibes (verde = continentales; azul = costeros; recopilados de varias fuentes) superpuestos sobre ecorregiones marinas (línea de puntos azul) y de agua dulce (línea amarilla). Obsérvese la falta de humedales continentales importantes documentados en la parte oriental del país.
B). Parte de la red fluvial de Myanmar, con los tramos de los ríos identificados por inventarios anteriores basados en sitios indicados como polígonos rojos;
C). Un área de los lagos de Myanmar, con los lagos identificados en inventarios anteriores indicados como polígonos rojos. © *Proyecto de Myanmar y Noruega sobre el uso racional de los humedales.*



Estudio de caso 6

La OT para cartografiar las turberas tropicales

Este estudio de caso es un ejemplo de buenas prácticas sobre un método nacional para cartografiar la extensión y profundidad de turba de las turberas tropicales mediante la OT. Esta metodología se seleccionó como la mejor para medir la extensión y profundidad de la turba en Indonesia en el marco de la competición *Indonesian Peat Prize* y fue elaborada para apoyar directamente la política *One Map* del Gobierno de Indonesia, encaminada a elaborar un mapa unificado del uso de la tierra.

Contexto y características ecológicas

La turba, formada por capas densas y húmedas de materia orgánica parcialmente descompuesta que se ha acumulado durante miles de años, se puede encontrar en muchos ecosistemas tropicales, pero Indonesia alberga los mayores bosques pantanosos de turba del mundo. Las turberas tropicales almacenan grandes cantidades de carbono: según las estimaciones actuales, cubren una superficie de entre 39 y 66 millones de hectáreas y constituyen una reserva total de 82 a 92 gigatoneladas (Gt), de carbono, de las cuales el 65 por ciento se encuentra en Indonesia (Page et al., 2011). Las turberas a menudo se drenan para la agricultura y para establecer plantaciones, lo cual da lugar a una descomposición de las bacterias de la turba y una gran vulnerabilidad a los incendios (Jaenicke et al., 2008). Los ecosistemas de turberas naturales desempeñan muchas funciones ecológicas e hidrológicas como la retención de agua, la regulación de las inundaciones, la protección contra la intrusión de agua

de mar, el almacenamiento de carbono, el desarrollo de altos niveles de endemismo y el refugio para especies amenazadas (Page y Rieley, 1998). Las turberas son de importancia mundial y están incluidas en el Sistema de Clasificación de Tipos de Humedales de Ramsar como turberas no arboladas y turberas arboladas (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2012).

Presiones y amenazas

Aunque muchas turberas aún están en estado natural, muchas otras han sido drenadas y degradadas. Esas perturbaciones reducen considerablemente su capacidad de almacenar o secuestrar carbono y provocan emisiones de grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI). La turba es una fuente importante de emisiones de GEI cuando se quema o descompone (Page et al., 2002; Ballhorn et al., 2011; Hooijer et al., 2012; Jauhiainen et al., 2012). Se calcula que en 2015 las turberas fueron responsables del 42 por ciento de las emisiones totales de Indonesia, los incendios de bosques y turberas generaron aproximadamente 1 620 millones de toneladas de emisiones de GEI y que el costo total para la economía de Indonesia fue de 16 000 millones de dólares de los EE. UU.[11] Debido a la gran sensibilidad de las turberas a las perturbaciones y la enorme cantidad de carbono que almacenan, áreas pequeñas pueden generar grandes emisiones. Sin embargo, esto también significa que la conservación y restauración de las turberas pueden ser medidas muy eficaces de adaptación del cambio climático y mitigación de este, incluso en zonas de turberas de pequeño tamaño.

Necesidades de información

La información sobre la ubicación, la extensión y el estado de las turberas es limitada y fragmentada y está basada en distintos métodos de elaboración de mapas. Además, existe poca información sobre la profundidad de las turberas, aunque es una variable clave para determinar el impacto de las perturbaciones causadas por el drenaje y los incendios. La incertidumbre en los datos y la información sobre las turberas, particularmente la profundidad de la turba, ha aplazado las medidas de protección y restauración de las turberas de Indonesia, lo cual a menudo ha dado lugar al drenaje de la turba y a incendios. En consecuencia, la Agencia de Información Geoespacial (BIG) creó el concurso *Indonesian Peat Prize* en respuesta a la falta de información precisa y actualizada sobre las turberas en Indonesia (Indonesian Peat Prize). La BIG comenzará un proceso de normalización emitiendo una normativa sobre la cartografía de las turberas acorde a la política del Gobierno de Indonesia de disponer de un mapa unificado (*One Map Policy*). De esta forma también se obtendrá la información necesaria para presentar informes relativos a los ODS (el ODS 6.6.1, que incluye las turberas), al programa REDD+ de la CMNUCC sobre las emisiones de GEI y a las CDNde Indonesia relacionadas con la restauración de las turberas.

Método de observación de la Tierra

Dado que la mayoría de las turberas tropicales son de difícil acceso, la elaboración de mapas de campo de las turberas es un reto importante a escala regional, nacional y mundial (Ballhorn et al., 2011; Jaenicke et al., 2008). Combinando mediciones de campo y teledetección se pueden elaborar mapas de la extensión y profundidad de la turba con un equilibrio óptimo entre una cobertura exhaustiva, una precisión razonable e incertidumbres cuantificables (Lawson et al., 2014).

Aunque la presencia de turba no se puede evaluar directamente mediante la teledetección, distintos rasgos que sí se pueden medir con este método dan una buena indicación de la presencia de turberas. Se han identificado cuatro grandes rasgos que distinguen las turberas tropicales de los bosques secos circundantes y son detectables con la ayuda de datos de teledetección obtenidos mediante dispositivos aéreos y espaciales (Lawson et al., 2014):

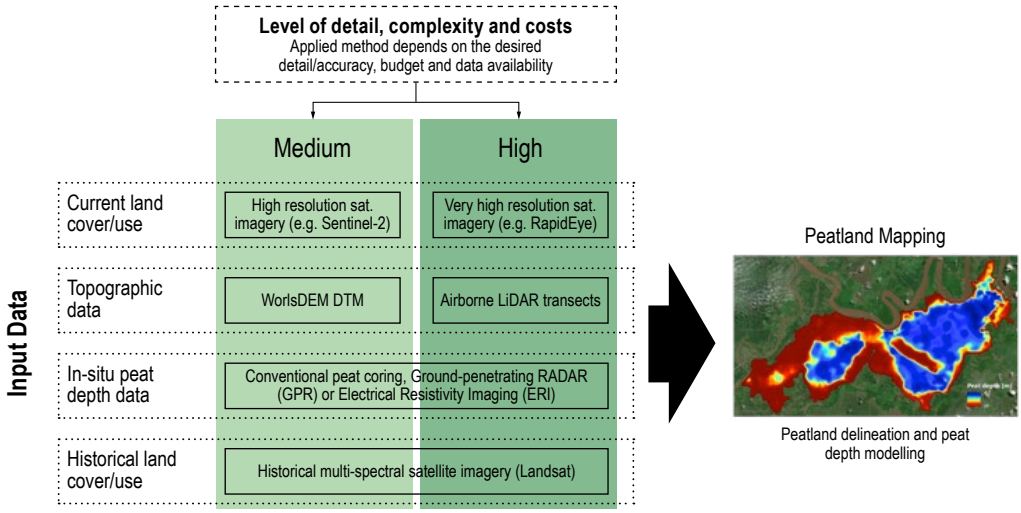
- baja diversidad de la vegetación;
- estructura diferenciada de la vegetación;
- topografía o altitud diferenciada; y
- nivel freático alto.

Ninguno de los cuatro rasgos clave por separado es suficiente para identificar con certeza las zonas de turberas, pero la combinación de dos o más conduce a una identificación mucho más clara (Draper et al., 2014). Basándose en los seis principios subyacentes de precisión, asequibilidad, velocidad, simplicidad, escalabilidad y adaptabilidad, se desarrolló un método en varias fases utilizando varios conjuntos de datos de teledetección, tales como instrumentos pasivos y activos y conjuntos de datos obtenidos *in situ*. El marco metodológico resultante se diseñó de tal forma que todos los conjuntos de datos de entrada son escalables y ajustables a los requisitos concretos de la elaboración de mapas. La Figura 10 muestra las fases de trabajo del marco metodológico propuesto.

Las imágenes de satélites ópticos con resolución media a muy alta son la principal fuente de datos para cartografiar la cubierta terrestre y el uso de la tierra. Los datos de Landsat se utilizan para la evaluación histórica y los datos con mayor resolución espacial obtenidos con sensores de nueva

11 Véase https://www.wri.org/news/2018/02/release-indonesian-peat-prize-announces-winner-1-million-international-peatmapping.

Figura 10
Marco metodológico. El método tiene dos fases: la recolección y el tratamiento de datos de entrada (izquierda: cubierta terrestre o uso de la tierra, datos topográficos sobre altitud, datos obtenidos in situ sobre la profundidad de la turba y cubierta terrestre o uso de la tierra en el pasado), seguida de la elaboración de mapas de las turberas, incluidas la delimitación de las turberas y la modelización de su profundidad. El aumento del detalle y la precisión junto con la disminución de la incertidumbre aumentan los costos y la complejidad metodológica.



generación se utilizan para evaluar la cubierta terrestre actual (p. ej., Sentinel-2, RapidEye u otros datos de muy alta resolución dependiendo del nivel de detalle necesario). La profundidad de las turberas se modeliza utilizando el contorno de la turbera, los datos sobre la elevación topográfica, los datos sobre la profundidad de la turba obtenidos *in situ* y la interpolación espacial. El método se basa en el supuesto de turberas ombrógenas típicas en forma de cúpula:

1. Las turberas en forma de cúpula suelen tener una sección transversal biconvexa que es el resultado de su formación en depresiones con forma de cuenca más o menos pronunciada en el paisaje así como distintas tasas de acumulación de turba en el centro de la cúpula en comparación con los márgenes (Rieley y Page, 2005).
2. La profundidad de la turba en los márgenes de las turberas en forma de cúpula es de 0,5 m (Jaenicke et al., 2008). Además, esta medida es el espesor mínimo que se utiliza en el sistema indonesio de clasificación de la turba (Radjagukguk, 1997; Rieley y Page 2005).

A partir de estos supuestos, la combinación de elevación topográfica y datos obtenidos *in situ* sobre la profundidad de la turba permite modelizar la profundidad de esta utilizando distintos métodos de interpolación. En el paquete estadístico de software libre R se ha desarrollado una herramienta que incorpora distintos métodos de interpolación entre los que elegir. El guion es gratuito y fácil de utilizar ya que solo precisa el contorno de la turbera, los datos de elevación topográfica obtenidos por teledetección y las medidas de profundidad de la turba tomadas *in situ* para derivar un modelo de profundidad de la turba de la zona validado y listo para su utilización.

Recursos para los usuarios

La información sobre el *Indonesian Peat Prize* y la metodología seleccionada se puede consultar en el sitio web oficial[12]. La realización de mapas de clasificación y cambio del uso de la tierra y la cubierta terrestre a partir de la OT es apoyada por una gran variedad de software libre y software propietario. Las políticas de acceso libre y abierto a los datos de Landsat[13] o Sentinel[14] permiten realizar evaluaciones de la cubierta terrestre sin costo. Se pueden utilizar datos de mayor resolución a bajo costo tales como RapidEye[15] para pequeñas turberas que requieren evaluaciones con mayor resolución. En cuanto a los datos topográficos, con la metodología presentada se utilizó el Modelo Digital de Terreno WorldDEM[16], que ofrece la mejor relación costo-beneficio para el método de cartografía de humedales propuesto. El guion R para interpolar la profundidad de la turba y el informe final sobre la metodología estarán disponibles próximamente. En cuanto al resumen de los datos mundiales, el mapa mundial de los humedales (*Global Wetlands Map*) de CIFOR es una iniciativa para obtener y compartir información sobre las turberas tropicales en un formato visual en el que los usuarios pueden acceder a datos y aportar sus propios datos[17].

Ventajas y limitaciones

Los datos espaciales exhaustivos y fiables sobre las turberas a escala nacional suelen ser escasos y estar repartidos entre distintas autoridades nacionales (p. ej., ministerios de agricultura y bosques). Aunque la presencia de turba no se puede evaluar directamente mediante teledetección, se utilizan distintos rasgos medidos por sensores para hacer una cartografía de las turberas. La variedad de datos de OT disponibles ha permitido el desarrollo de una metodología eficaz para cartografiar la extensión

12 Véase http://indonesianpeatprize.com/.
13 Véase https://landsat.usgs.gov/.
14 Véase https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home.
15 Véase https://www.planet.com/.
16 Véase http://www.intelligence-airbusds.com/worlddem/.
17 Véase http://www.cifor.org/global-wetlands/.

de las turberas y cuantificar la turba a escala nacional. Puede colmar el vacío de información existente mediante la cartografía y el seguimiento periódicos de las turberas a escala local, regional o nacional. Como ocurre con todos los enfoques basados en la OT, hay que obtener datos de campo adecuados para validar los mapas derivados, lo cual suele ser caro y difícil por problemas de acceso.

Una vez que este método se convierta en la norma en la reglamentación indonesia sobre la cartografía de las turberas permitirá una evaluación y comparación más coherentes de la información sobre las turberas. El método para cartografiar las turberas a partir de la OT puede contribuir a obtener la información necesaria para presentar informes en el contexto de los indicadores de los ODS, el programa REDD+ de la CMNUCC y las CDN de Indonesia relativas a la restauración de las turberas.

Limitaciones actuales y avances futuros

Algunas limitaciones del uso de la OT para derivar información sobre humedales de manera habitual han sido el costo de la tecnología, la capacidad técnica necesaria para utilizar los datos, la inadecuación de los datos disponibles para algunas aplicaciones básicas (particularmente en relación con su resolución espacial o temporal), la falta de orientaciones y métodos claros, robustos y eficaces orientados a los usuarios para utilizar la tecnología y la falta de un historial sólido de estudios de caso exitosos que puedan constituir una base para las actividades operativas. Otros obstáculos señalados habitualmente para la ampliación y utilización operativa de la OT en el seguimiento de los humedales han sido los siguientes: políticas restrictivas de acceso a los datos, dificultades para encontrar conjuntos de datos pertinentes y acceder a ellos, falta de normalización, falta de productos adecuados para el uso previsto, la insuficiente frecuencia de observaciones para realizar un seguimiento de los cambios en los humedales a la escala adecuada, la necesidad de una continuidad en las observaciones a largo plazo, e insuficientes programas de formación para crear capacidad a escala nacional.

En los últimos 15 años ha habido muchos cambios en este campo gracias al surgimiento de políticas de acceso libre y abierto a datos de satélite obtenidos con fondos públicos (por ejemplo, la decisión del Gobierno de los Estados Unidos en 2008 de ofrecer acceso libre y gratuito a todo el archivo de Landsat) y nuevas generaciones de satélites de OT con mayor resolución espacial y temporal (p. ej., los satélites Sentinel del programa europeo Copérnico), que han dado lugar a un archivo mundial de datos adecuados para aplicaciones ambientales en continuo crecimiento y expansión.

No obstante, sigue habiendo varias dificultades que resolver para aprovechar plenamente estos avances. La utilización eficaz de la OT en un contexto operativo se podría mejorar de la siguiente forma:

- Mejorando la cooperación entre ecólogos, hidrólogos y expertos en teledetección sobre la aplicación de programas de inventario y evaluación de humedales;
- Elaborando orientaciones y protocolos más sistemáticos y coherentes para los procedimientos de cartografía de los humedales; y
- Cuantificando sistemáticamente las incertidumbres para evaluar con más precisión la fiabilidad de los productos derivados de la OT;

Pese a las dificultades, la investigación y el desarrollo abundantes están dando lugar a nuevos métodos y herramientas, aumentando el potencial de proporcionar la información que necesitan las Partes Contratantes en la Convención de Ramsar. La apertura de los archivos de datos y el cambio en los proveedores de datos hacia políticas de acceso cada vez más abiertas junto con los avances en las tecnologías de la información y la comunicación están eliminando continuamente las barreras en el acceso a los datos y el análisis de grandes conjuntos de datos. El acceso a infraestructuras y almacenamiento basados en la computación en la nube así como el desarrollo de herramientas de análisis de grandes datos (*Big Data*) están haciendo que sea más fácil acceder a grandes conjuntos de datos de OT y analizarlos. Además, las agencias espaciales han priorizado recientemente los esfuerzos para mejorar aún más el acceso a los usuarios potenciales proporcionando datos listos para su análisis, lo cual amplía el uso de la OT a un público más diverso que nunca, reduciendo la capacidad técnica necesaria para extraer al menos información básica de los datos.

Es necesario realizar investigaciones sobre cuestiones prioritarias en materia de OT, tales como el desarrollo de métodos robustos y científicamente sólidos para el inventario de humedales, la distinción entre humedales y zonas inundadas, la cartografía de zonas inundadas cubiertas por vegetación densa, la distinción entre la variabilidad hidrológica natural y las tendencias a largo plazo, la cartografía adecuada de hábitats de humedales "difíciles" tales como las praderas húmedas y la evaluación de la intensidad del uso de los humedales y de la idoneidad de los archivos históricos de satélite para realizar estudios retrospectivos sobre los cambios en los humedales.

Es necesario disponer de orientaciones sobre la utilización en un contexto nacional de conjuntos de datos mundiales emergentes tales como *Global Mangrove Watch* de la JAXA y *Global Surface Water Explorer* del Centro Común de Investigación (JRC, por sus siglas en inglés) de la Comisión Europea e integrar evaluaciones de campo y validaciones para complementar el uso de los datos de OT a fin de evitar interpretaciones erróneas a escala local.

Conclusiones

Además de brindar información directamente aplicable a la gestión de los humedales, la OT puede apoyar la presentación de informes nacionales de las Partes Contratantes a la Convención de Ramsar y para ejecutar el Cuarto Plan Estratégico de Ramsar (2016-2024), así como la presentación de informes sobre los ODS y las contribuciones determinadas a nivel nacional (CDN). La información de OT se puede utilizar para la realización de inventarios, evaluaciones y un seguimiento de los humedales, particularmente dado el drástico aumento en la disponibilidad y accesibilidad de los conjuntos de datos adecuados en los últimos años. En particular, la OT puede proporcionar geoinformación normalizada y comparable sobre el estado y las tendencias de las características ecológicas de los humedales.

La OT constituye un medio eficaz para realizar una cartografía y un seguimiento periódicos a escala nacional, regional y mundial de una manera uniforme cuando los mismos tipos de datos y de algoritmos de clasificación se utilizan en todas las zonas y durante varias épocas. Esto permite realizar una comparación más sólida de la extensión de los humedales entre distintos países y regiones y un análisis de las tendencias a lo largo del tiempo que la comparación de datos obtenidos de fuentes diferentes.

Sin embargo, no sería sensato esperar que los conjuntos de datos mundiales puedan lograr el mismo nivel de precisión en todas partes que un mapa a escala local derivado mediante estudios terrestres y la utilización de datos geoespaciales con mayor resolución (p. ej., aéreos, drones). Normalmente, cuando se realiza una cartografía de determinadas áreas a escala mundial suele ser necesario aceptar una cierta pérdida de precisión a escala local.

Aunque uno de los usos más comunes de los datos de OT es la realización de mapas de la cubierta terrestre y los usos de la tierra, sigue habiendo dificultades para evaluar el estado actual y los cambios de los humedales a lo largo del tiempo. El seguimiento de las tendencias históricas y los cambios en los patrones de los humedales se complica por la falta de datos de media a alta resolución, particularmente antes del año 2000.

Los datos de OT tienen la ventaja única de permitir el análisis de manera homogénea de un gran número de humedales o incluso regiones más extensas que comprenden muchos humedales utilizando los mismos métodos. Las evaluaciones de humedales pueden ser interesantes para las Partes Contratantes a escala nacional o para acuerdos supranacionales a escala regional o continental.

Muchas de las barreras técnicas que solían limitar la utilización de los datos de OT se han reducido o superado. Las políticas de datos abiertos están haciendo que estos sean más accesibles y el desarrollo de juegos de herramientas de código libre y abierto está reduciendo los costos ligados a las licencias de programas informáticos. Estos cambios han dado lugar a un rápido desarrollo de métodos de tratamiento automatizado y de otros tipos. La creciente disponibilidad de servicios informáticos en la nube ha permitido que los archivos de OT se puedan explotar más fácilmente para acceder a cambios pasados y establecer bases de referencia.

Aún no se ha desarrollado un inventario mundial de los humedales ni un sistema único a gran escala para realizar su seguimiento, que permitiría realizar evaluaciones de sus tendencias actuales y cambios a largo plazo. Sin embargo, se han publicado recientemente varios conjuntos de datos mundiales de alta resolución que documentan la extensión y los cambios en tipos concretos de humedales y están a disposición de los usuarios.

Gracias a un número reciente de esfuerzos conjuntos entre distintos campos (OT, ecología y conservación, entre otros) y sectores (ciencia, gobernanza o política, gestión e industria, entre otros) se están produciendo un uso continuado de datos de OT y adelantos en la ciencia de los humedales y se está logrando una mejor disponibilidad y accesibilidad de los datos y conocimientos basados en la OT.

Referencias

- Abell, R., Thieme, M.L. Revenga, C., Bryer, M., Kottelat, M., Bogutskaya, N., Coad, B., Mandrak, N., Contreras Balderas, S., Bussing, W., Stiassny, M.L.J., Skelton, P., Allen, G.R., Unmack, P., Naseka, A., Ng, R., Sindorf, N., Robertson, J., Armijo, E., Higgins, J.V., Heibel, T.J., Wikramanayake, E., Olson, D., López, H.L., Reis, R.E., Lundberg, M.H., Pérez, S. y Petry, P. (2008). Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *BioScience* 58, 403-414.
- Agencia Espacial Europea (ESA), 2018. Disponible en https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-3/Facts_and_figures. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Agencia Espacial Europea (ESA). *Diversity II*. http://www.diversity2.info/. Consultado el 10 de agosto de 2018.
- Agencia Espacial Europea (ESAa). *Sentinel Online FAQ*. https://sentinel.esa.int/web/sentinel/faq. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Agencia Espacial Europea (ESAb). *Lake Volta, Ghana*. https://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Lake_Volta_Ghana. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- AQUASTAT. (2005). *Ghana*. http://www.fao.org/aquastat/es/countries-and-basins/country-profiles/country/GHA. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Ballhorn U., Jubanski J. y Siegert, F. (2011). ICESat/GLAS Data as a measurement tool for peatland topography and peat swamp forest biomass in Kalimantan, Indonesia. *Remote Sens.*, 3(9), 1957-1982. Disponible en: https://doi.org/10.3390/rs3091957.
- Bioresita, F., Puissant, A., Stumpf, A. y Malet, J.-P. (2018). A Method for Automatic and Rapid Mapping of Water Surfaces from Sentinel-1 Imagery. *Remote Sens.*, 10, 217.
- Bunting, P., Rosenqvist, A., Lucas, R., Rebelo, L.-M., Hilarides, L., Thomas, N., Hardy, A., Itoh, T., Shimada, M. y Finlayson, C.M. (2018). The Global Mangrove Watch – a new global baseline of mangrove extent. *Remote Sens.*
- CONABIO. *Manglares de Mexico*. http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/manglares2013/manglares.html. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (1994). *Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional Especialmente como Hábitats de Aves Acuátivas* (texto actual de la Convención). Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/current_convention_s.pdf
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2002). 8ª Reunión de la Conferencia de las Partes en la Convención sobre los Humedales. Valencia (España), 18 a 26 de noviembre de 2002. COP8 DOC.35: Documento informativo: *The use of Earth Observation technology to support the implementation of the Ramsar Convention.* Disponible en inglés: https://www.ramsar.org/document/cop8-doc-35.
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2011). 11th Reunión de la Conferencia de las Partes en la Convención sobre los Humedales. Bucarest (Rumanía) 6 a 13 de julio de 2012. *Resolución XI.8, Anexo 2: Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971) – revisión de 2012.* Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop11-res08-s-anx2.pdf
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2015). 12ª Reunión de la Conferencia de las Partes en la Convención sobre los Humedales. Punta del Este (Uruguay), 1 a 9 de junio de 2015. *Resolución XII.2: El Plan Estratégico de Ramsar para 2016-2024.* Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/cop12_res02_strategic_plan_s.pdf
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y de sus servicios a las personas*. Gland (Suiza). Secretaría de la Convención de Ramsar. Disponible en: https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5ca370b471c10b9ae932db42/1554215118267/Ramsar+GWO_SPANISH_WEB+2019UPDATE.pdf
- Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). Informes nacionales a la COP13: Myanmar. Disponible en inglés en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/importftp/COP13NR_Myanmar_e.pdf.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica. *Metas de Aichi para la diversidad biológica*. https://www.cbd.int/sp/targets/. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Davidson, N.C. y Finlayson, C.M. (2007). Earth Observation for wetland inventory, assessment and monitoring. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems,* 17, 219-228.
- Deltares. Aqua Monitor. https://www.deltares.nl/en/software/aqua-monitor/. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Draper, F.C., Roucoux, K.H., Lawson, I.T., Mitchard, E.T.A., Honorio Coronado, E.N., Lähteenoja, O., Torres Montenegro, L., Valderrama Sandoval, E., Zaráte, R. y Baker, T.R. (2014). The amount of carbon in the largest peatland complex in Amazonia. *Environmental Research Letters*, 9 (12) 124017.
- Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005). Los Ecosistemas y el Bienestar Humano: Humedales y Agua. Informe de Síntesis. World Resources Institute, Washington, DC. Disponible en: https://www.millenniumassessment.org/documents/MA_WetlandsandWater_Spanish.pdf
- Fernández-Prieto, D. y Finlayson, C.M. (eds.). (2009). The GlobWetland symposium: looking at wetlands from space. *Journal of Environmental Management* 90 (7), 2119-2286. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-environmental-management/vol/90/issue/7.
- Fernández-Prietto, D., Arino, O., Borges, T., Davidson, N., Finlayson, M., Grassl, H., MacKay, H., Prigent, C., Pritchard, D. y Zalidis, G. (2006). *Summary and way forward*. En Lacoste, H. (ed.). Proceedings of the First International Symposium on GlobWetland: Looking at Wetlands from Space, Frascati (Italia), 19 y 20 de octubre de 2006. SP-634 noviembre de 2006. Agencia Espacial Europea/ Insituto Europeo de Investigación Espacial: Frascati (Italia). Disponible en: http://www.esa.int/esapub/conference/toc/tocSP634.pdf.
- Finlayson, C.M., Hollis, T. y Davis, T. (eds.). (1992). Managing Mediterranean wetlands and their birds: proceedings of a Symposium on Managing Mediterranean Wetlands and their Birds for the year 2000 and beyond, Grado (Italia), 6 a 9 de febrero de 1991. International Waterfowl and Wetlands Research Bureau (IWRB) Special Publication No. 20. Slimbridge, (Reino Unido): IWRB. .
- Finlayson, C.M., Davidson, N.C., Spiers, A.G. y Stevenson, N.J. (1999). Global wetland inventory – current status and future priorities. *Marine & Freshwater Research* 50, 717-727. Disponible en: https://www.publish.csiro.au/mf/MF99098.
- Finlayson, C.M., Milton, R. Prentice, C. (2018). Wetland Types and Distribution. En Finlayson, C.M., Milton, R., Prentice, C. y Davidson, N.C. (eds.). *The Wetland Book II: Distribution, Description and Conservation*. Dordrecht (Países Bajos): Springer Publishers.
- Finlayson, C.M., Rosenqvist, A. y Lowry, J. (eds.) (2007). Special issue: Satellite-based radar – developing tools for wetlands management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 17 (3), 219-329.
- Gardner, R. C., y Davidson, N. C. (2011). The Ramsar Convention. En Lepage, B.A. (ed.). *Wetlands: Integrating Multidisciplinary Concepts*. Dordrecht (Países Bajos): Springer.
- Gholizadeh, M. H., Melesse, A. M. y Reddi, L. (2016). A Comprehensive Review on Water Quality Parameters Estimation Using Remote Sensing Techniques. *Sensors* 16(8), 1298. Disponible en: http://doi.org/10.3390/s16081298.
- Giri, C., Ochieng, E., Tieszen L.L., Zhu, Z., Singh, A., Loveland, T.R., Masek, J. y Duke, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, 20 (1), 154-159. Disponible en: https://databasin.org/datasets/d214245ab4554bc1a1e7e7d9b45b9329.
- Global Mangrove Watch. https://www.globalmangrovewatch.org/. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Global Reservoir and Lake Elevation Database. https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/global_reservoir/PECADOnlineGlobalReservoirMonitorBackground.htm. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Global Surface Water Explorer. https://global-surface-water.appspot.com/. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- GlobWetland Africa (GA-Wa). *About*. http://globwetland-africa.org/?page_id=7. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- GlobWetland Africa (GA-Wb). *GA-W Toolbox*. http://globwetland-africa.org/?page_id=13http://globwetland-africa.org/?page_id=13%20. Consultado el 17 de octubre de 2019.
-
- GlobWetland Africa (GA-Wc). *Wetland habitat mapping: Lake Burullus*. http://globwetland-africa.org/wp-content/uploads/2017/02/Wetland-Habitat-Mapping.pdf. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Gordon, C., y Amatekpor, J.A., (editores) 1999, The Sustainable Integrated Development of the Volta Basin in Ghana Volta Basin Research Project, Accra, 159p. https://www.researchgate.net/publication/266098574_The_Sustainable_Integrated_Development_of_the_Volta_Basin_of_Ghana_in_Ghana.
- Group on Earth Observations (GEO). *GEO 2017-2019 Work Programme*. https://www.earthobservations.org/activity.php?id=122. Consultado el 11 de octubre de 2018.
- Gyau-Boakye, P. (2001). *Environment, Development and Sustainability* 3, 17. Disponible en: https://doi.org/10.1023/A:1011402116047.
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., y Wu, J. (2018). Detecting, extracting, and monitoring surface water from space using optical sensors: A review. *Reviews of Geophysics* 56, 333–360. Disponible en: https://doi.org/10.1029/2018RG000598.
- Instituto Humboldt. (2015). *Inventario de Humedales Continentales e Insulares de Colombia*. Cartografía vectorial. Proyecto Ecosistemas Estratégicos, Componente Humedales - Fondo Adaptación. Instituto de Investigación en recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Disponible en: http://geonetwork.humboldt.org.co/geonetwork/srv/spa/search?&uuid=385f5623-ac81-42b6-a000-35dd6f6203eb.
- Jaenicke, J., Rieley, J.O., Mott, C., Kimman, P. y Siegert, F. (2008). Determination of the amount of carbon stored in Indonesian peatlands. *Geoderma* 147 (3-4), 51-158.
- Lawson, I.T., Kelly, T.J., Aplin, P., Boom, A., Dargie, G., Draper, F.C.H., Hassan, P.N.Z.B.P., Hoyos-Santillan, J., Kaduk, J., Large, D., Murphy, W., Page, S.E., Roucoux, K.H., Sjögersten, S., Tansey, K., Waldram, M., Wedeux, B.M.M. y Wheeler, J. (2014). Improving estimates of tropical peatland area, carbon storage, and greenhouse gas fluxes. *Wetlands Ecology and Management*. 23 (3), 327-346.
- Ledang, A.B. y Odermatt, D. (n.d.). Traces of eutrophication in Winam Gulf, Lake Victoria. Inland Waters Biodiversity Stories. ESA DUE Project Diversity II. Disponible en: http://www.diversity2.info/products/documents/DEL8/D2Story-Victoria.pdf.
- Lehner, B., Grill, G. (2013). Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*, 27(15), 2171-2186. https://doi.org/10.1002/hyp.9740. Los datos están disponibles en: www.hydrosheds.org.
- 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. y Hilarides, L. (2014). Contribution of L-band SAR to systematic global mangrove monitoring. *Marine and Freshwater Research*, 65(7), 589-603.
- MacKay, H., Finlayson, C.M., Fernández-Prieto, D., Davidson, N., Pritchard, D. y Rebelo, L.-M. (2009). The role of Earth Observation (EO) technologies in supporting implementation of the Ramsar Convention on Wetlands. *Journal of Environmental Monitoring* 90(7), 2234-2242.

- McInnes, R. J., Davidson, N. C. y Hails, A. J. (2016). *Conservation of biodiversity and improved management of protected areas in Myanmar: An action plan for the delivery of improved management of valuable wetlands*. Unpublished report produced for the Norwegian Environment Agency and MOECAF. Littleworth (Reino Unido): RM Wetlands & Environment Ltd. Disponible en: http://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/myanmar_action_plan_2016_e.pdf.
- McCully, P. (2001). *Silenced Rivers: The Ecology and Politics of Large Dams* (enlarged & updated edition). Londres (Reino Unido): Zed Books.
- MedWet (Iniciativa para los Humedlaes del Mediterráneo) (MedWet). https://medwet.org/. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Mediterranean Wetlands Observatory (MWO). (2016). *Land-cover in Ramsar Sites in Metropolitan France, 1975-2005*. Arles (Francia): Mediterranean Wetlands Observatory c/o Tour du Valat.
- Mediterranean Wetlands Observatory (MWO). (2014). *Land cover: Spatial dynamics in Mediterranean coastal wetlands from 1975 to 2005*. Thematic Collection, Issue No.2. Arles (Francia):
- Tour du Valat. Disponible en: https://tourduvalat.org/en/media/brochures/.
- Mediterranean Wetlands Observatory (MWO). (2018). *Mediterranean Wetlands Outlook 2018*. Technical report. Arles (Francia): Mediterranean Wetlands Observatory c/o Tour du Valat.
- Mediterranean Wetlands Observatory (MWO). (2012). *Mediterranean Wetlands Outlook 2012*. Technical report. Arles (Francia): Mediterranean Wetlands Observatory c/o Tour du Valat.
- Nel, J.L., Murray, K.M., Maherry, A.M., Petersen, C.P., Roux, D.J., Driver, A., Hill, L., Deventer, H., Funke, N., Swartz, E.R., Smith-Adao, L.B., Mbona, N., Downsborough, L. y Nienaber, S. (2011). *Technical report for the national freshwater ecosystem priority areas project*. Water Research
- Niu, Z. G., Zhang, H. Y., Wang, X. W., Yao, W. B., Zhou, D. M., Zhao, K. Y., Zhao, H., Li, N. N., Huang, H. B., Li, C. C., Yang, J., Liu, C. X., Liu, S., Wang, L., Li, Z., Yang, Z. Z., Qiao, F., Zheng, Y. M., Chen, Y. L., Sheng, Y. W., Gao, X. H., Zhu, W. H., Wang, W. Q., Wang, H., Weng, Y. L., Zhuang, D. F., Liu, J. Y., Luo, Z. C., Cheng, X., Guo, Z. Q. y Gong, P. (2012). Mapping wetland changes in China between 1978 and 2008. *Chinese Science Bulletin*, 57(22), 2813--2823. Disponible en: DOI: 10.1007/S11434-012-5093-3.
- Odermatt, D., Brito, J., Philipson, P., Hans, N. y Brockman, C. (2015). *Inland Waters*. Diversity II Products User Handbook, issue 2.1. Disponible en: http://www.diversity2.info/products/documents/DEL8/DIV2_Products_User_Handbook_Inlandwaters_v2.1.pdf.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). *Evaluación de los recursos forestales mundiales*. Roma (Italia): FAO. ISBN 978-92-5-108826-5. Disponible en: http://www.fao.org/forest-resources-assessment/past-assessments/fra-2015/es/
- Osenga, E.M. (2016). Stepping into the SWOS portal – how coordination of data can help protect the worlds vanishing wetlands. *Earthzine*. Disponible en: https://earthzine.org/2016/03/15/stepping-into-the-swos-portal-how-coordination-of-data-can-help-protect-the-worlds-vanishing-wetlands/.
- Page, S.E., Rieley, J.O., Banks, C.J. (2011). Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. *Global Change Biology*, 17(2), 798-818.
- Papa, F., Prigent, C., Aires, F., Jimenez, C., Rossow, W. B. y Matthews, E. (2010). Interannual variability of surface water extent at the global scale, 1993–2004. *Journal of Geophysical Research – Atmospheres* 115 (D12), D12111. Disponible en: DOI: 10.1029/2009JD012674.
- Perennou, C., Guelmami, A. y Gaget, E. (2016). Les milieux humides remarquables, des espaces naturels menacés. Quelle occupation du sol au sein des sites Ramsar de France métropolitaine ? Rétrospective 1975-2005. Rapport Tour du Valat/ Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes/ Observatoire National des Milieux Humides/ Ministerio de Ecología de Francia (Francia). Disponible en: http://www.naturefrance.fr/sites/default/files/fichiers/ressources/pdf/161003_brochure_ramsar_occ-sol_tome_1_allege.pdf
- Perennou C., Guelmami A., Paganini M., Philipson P., Poulin B., Strauch A., Truckenbrodt J., Tottrup C. y Geijzendorffer I.R. (2018). Mapping Mediterranean wetlands with remote sensing: a good-looking map is not always a good map. *Advances in Ecological Research* 58, 243–277. Disponible en: DOI: 10.1016/bs.aecr.2017.12.002.
- Plan Bleu (2009). *State of the Environment and Development in the Mediterranean*. UNEP/MAP Plan Bleu (Atenas).
- Radjagukguk, B. (1997). Peat soils of Indonesia: location, classification and problems for sustainability. En Rieley, J.O. y Page, S.E. (eds.).e. *Biodiversity and Sustainability of Tropical*
- *Peatlands. Proceedings of the international symposium on biodiversity, environmental importance and sustainability of tropical peat and peatlands*, Palangka Raya, Kalimantan Central (Indonesia), 4 a 8 de septiembre de 1995. Cardigan (Reino Unido): Samara Publishing Limited.
- Reis, V., Hermoso, V., Hamilton, S. K., Ward, D., Fluet-Chouinard, E., Lehner, B. y Linke, S. (2017). A global assessment of inland wetland conservation status. *Bioscience*, 67(6), 523-533.
- Richter, B.D., Postel, S., Revenga, C., Scudder, T., Lehner, B., Churchill, A. y Chow, M. (2010).
- Lost in development's shadow: The downstream human consequences of dams. *Water Alternatives* 3(2), 14.
- Rieley, J.O. y Page, S.E. (2005). *Wise use of tropical peatlands: Focus on Southeast Asia*. E.U.
- STRAPEAT project. Wageningen (Países Bajos): Alterra Research Centre.
- Rodríguez-Zúñiga, M.T., Troche-Souza, C., Vázquez-Lule, A. D., Márquez-Mendoza, J. D., Vázquez- Balderas, B., Valderrama-Landeros, L., Velázquez-Salazar, S., Uribe Martínez, A., Acosta-Velázquez, J., Díaz-Gallegos, J., Cruz-López, M. I. y Ressl, R. (2012). *Los manglares de México: estado actual y establecimiento de un programa de monitoreo a largo plazo: 2ª y 3era etapas*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. GQ004. México, D.F. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfGQ004.pdf.
- Rosenqvist, A., Finlayson, C.M., Lowry, J. y Taylor, D. (2007). The potential of long-wavelength satellite-borne radar to support implementation of the Ramsar Wetlands Convention. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 17(3), 229-244.
- Satellite-based Wetland Observation Service (SWOSa). http://swos-service.eu/. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Satellite-based Wetland Observation Service (SWOSb). *Mapping software*. http://swos-service.eu/documents_mapping-software/. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Schindler, D.W. (1978). Factors regulating phytoplankton production and standing crop in the world's freshwaters. *Limnology and Oceanography* 23, 478–486.
- Schowengerdt, R.A., (1997). *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*, 3d ed. Academic Press. eBook ISBN: 9780080480589
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2016). *Introducción a la Convención sobre los Humedales* (anteriormente Manual de la Convención de Ramsar), Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/handbook1_5ed_introductiontoconvention_s_final.pdf
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010a). *Inventario de humedales: Marco de Ramsar para el inventario y la descripción de las características ecológicas de los humedales*. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 15. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-15sp.pdf
- Secretaría de la Convención de Ramsar. (2010b). *Inventario, evaluación y monitoreo: Marco Integrado para el inventario, la evaluación y el monitoreo de humedales*. Manuales Ramsar para el uso racional de los humedales, 4ª edición, vol. 13. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza). Disponible en: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/pdf/lib/hbk4-13sp.pdf
- Servicio de Información sobre Sitios Ramsar (SISR). *Lake Burullus*: https://rsis.ramsar.org/es/ris/408?language=es
- https://rsis.ramsar.org/sites/default/files/rsiswp_search/exports/Ramsar-Sites-annotated-summary-Egypt.pdf?1534512756. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- Spalding, M.D., Fox, H.E., Allen, G.R., Davidson, N., Ferdaña, Z.A., Finlayson, C.M., Halpern, B.S., Jorge, M.A., Lombana, A.I., Lourie, S.A., Martin, K.D., McManus, E., Molnar, J., Recchia, C.A. y
- Robertson, J. (2007). Marine Ecoregions of the World: a bioregionalization of coast and shelf areas. *BioScience* 57, 573-583. Disponible en: DOI: 10.1641/ B570707.
- State Forestry Administration (SFA), People's Republic of China. (2014). *Outcomes of China's Second National Wetland Inventory*. https://wenku.baidu.com/view/7acc1cdbec3a87c24128c425.html.
- Spalding M., Kainuma, M. y Collins, L. (2010). World Atlas of Mangroves (v1.1). London, U.K.: Earthscan (Taylor & Francis). ISBN: 978-1-84407-657-4. Disponible en: data.unep-wcmc.org/datasets/5.
- Thomas, N., Lucas, R., Bunting, P., Hardy, A., Rosenqvist, A. y Simard, M. Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996–2010. (2017). *PLOS ONE*, 12(6): e0179302. Disponible en: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179302.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (2017). *Mangroves and REDD+: A new component of MFF*. Disponible en: https://www.iucn.org/news/asia/201711/mangroves-and-redd-new-component-mff. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- United Nations Division for Sustainable Development Goals (UN-DESA). *Sustainable Development Knowledge Platform*. https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs. Consultado el 17 de octubre de 2019.
- van Valkengoed, E. (2018). *The impact of aquaculture expansion on Lake Burullus, a Ramsar Site in Egypt*. SWOS: Satellite-based Wetland Observation Service. Disponible en: http://swos-service.eu/2018/06/18/impact-of-aquaculture-expansion-on-lake-burullus/.
- Water Research Commission (WRC). Commission Report (WRC) No.1801/2/11. Pretoria (Sudáfrica): WRC.
- World Resources Institute (WRI). Indonesian Peat Prize. https://wri-indonesia.org/en/our-work/project/indonesian-peat-prize. Consultado el 17 de octubre de 2019.

Glosario[18]

Cambio en las características ecológicas: "[L]a alteración adversa, causada por la acción humana, de cualquiera de los componentes, procesos y/o beneficios/servicios del ecosistema" (véase también la Resolución IX.1, Anexo A).

Datos listos para su análisis: Datos de la observación de la Tierra (OT) que han sido objeto de un tratamiento en base a unos requisitos mínimos y están organizados de una forma que permite su análisis inmediato sin ningún esfuerzo adicional por el usuario así como la interoperabilidad con otros conjuntos de datos en el tiempo y el espacio.

Características ecológicas: "[L]a combinación de los componentes, procesos y beneficios/servicios del ecosistema que caracterizan al humedal en un determinado momento" (la definición más reciente se encuentra en la Resolución IX.1, Anexo A).

Criterios de Ramsar: Se citan para determinar la importancia internacional; y una serie de datos adicionales sobre, entre otras cosas, valores hidrológicos, flora y fauna, usos del suelo, factores socioculturales, medidas de conservación y posibles riesgos. Fueron decididos por la Conferencia de las Partes de 1990 (Recomendación 4.7) y han sido actualizados periódicamente desde entonces. La información presentada en las Fichas Informativas se introduce en la Base de Datos sobre los Sitios Ramsar y sirve de base para hacer un seguimiento y un análisis de las características ecológicas de cada sitio y evaluar el estado y las tendencias de los humedales en los planos regional y mundial. En la COP11 se adoptó un nuevo modelo de FIR mediante la Resolución XI.8 (Anexo 2), *Marco estratégico y lineamientos para el desarrollo futuro de la Lista de Humedales de Importancia Internacional de la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971) – revisión de 2012, que se puede consultar en la dirección https://rsis.ramsar.org/.

Datos actualizados en la Ficha Informativa de Ramsar: En la Resolución VI.13 (1996) se pide a las Partes Contratantes que actualicen las FIR de todos sus sitios Ramsar al menos cada seis años y que presenten las actualizaciones a la Secretaría para garantizar que los datos, disponibles públicamente en la Base de Datos de Ramsar, estén lo suficientemente actualizados y se puedan utilizar como herramienta de gestión para la detección y el seguimiento de los cambios en los sitios a lo largo del tiempo.

Evaluación de humedales: Determinación del estado de los humedales y de las amenazas que pesan sobre ellos, como base para reunir información más específica mediante actividades de monitoreo.

Ficha Informativa de Ramsar (FIR): Medio empleado por las Partes Contratantes para presentar información sobre los humedales designados para ser inscritos en la Lista de Humedales de Importancia Internacional y mantenerla al día. Las cuestiones sobre las que se ha de informar empleando la FIR incluyen información fáctica sobre superficie, altitud, tipos de humedales, ubicación, jurisdicción, etc.

Funciones de los humedales: Actividades o acciones que tienen lugar de forma natural en los humedales como resultado de las interacciones entre la estructura y los procesos del ecosistema. Las funciones abarcan acciones como la regulación de las crecidas, la retención de nutrientes, sedimentos y contaminantes, el mantener la cadena trófica, la estabilización de las orillas y el control de la erosión, la protección contra las tormentas y la estabilización de las condiciones climáticas locales, en particular la lluvia y la temperatura (aprobadas por la Resolución VI.1).

Grupo de Observaciones de la Tierra (GOT, GEO en inglés): Iniciativa intergubernamental voluntaria con más de cien gobiernos miembros (incluida la Comisión Europea) y más de cien organizaciones participantes que promueve la producción y el uso abierto y conjunto de datos de OT para apoyar la toma de decisiones en el mundo (GEO).

GlobWetland Africa (GW-A): Proyecto a gran escala de aplicación de la OT diseñado para facilitar la explotación de observaciones de satélite para la conservación, el uso racional y la gestión eficaz de los humedales y para aportar a los interesados africanos los métodos y herramientas de OT necesarios para cumplir mejor sus compromisos y obligaciones respecto de la Convención de Ramsar sobre los Humedales. Está financiado por la Agencia Espacial Europea.

***Global Mangrove Watch* (GMW)**: Iniciativa internacional dirigida por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial (JAXA) en colaboración con la Convención de Ramsar, Wetlands International, el PNUMA-CMVC y las universidades de Nueva Gales del Sur (Australia) y Aberystwyth (Reino Unido). Su finalidad es aportar mapas anuales sobre cambios en la extensión mundial de los manglares utilizando los satélites de radar japoneses JERS-1, ALOS y ALOS-2 (Lucas et al., 2014).

Grupo de Examen Científico y Técnico (GECT): Órgano subsidiario de asesoramiento científico de la Convención, creado en 1993, que

18 Las definiciones de este glosario se han extraído principalmente del Manual 1 de Ramsar (5ª edición), excepto cuando se indica lo contrario.

presta asesoramiento sobre una serie de cuestiones científicas y técnicas a la Secretaría y al Comité Permanente. El GECT está compuesto por 18 miembros con conocimientos científicos y técnicos adecuados, además de observadores que representan a las Organizaciones Internacionales Asociadas (OIA), experto(s) científico(s) y técnico(s) recomendados por las Partes Contratantes y otras organizaciones reconocidas por la COP.

Informes en el marco del Artículo 3.2: Con arreglo al Artículo 3.2 de la Convención, las Partes deben informar a la Secretaría sobre los cambios o las amenazas relativos a las características ecológicas de sus humedales incluidos en la Lista y responder a las preguntas de la Secretaría sobre informes de ese tipo presentados por terceros.

Inventario de humedales: Recolección y/o reunión de información básica para la gestión de los humedales, incluido el establecimiento de una base de información para actividades de evaluación y monitoreo específicas.

Juego de herramientas: Biblioteca de secuencias de tareas diseñada a medida para la importación, el tratamiento y el análisis de datos de OT de radar para apoyar la gestión de los humedales.

Monitoreo o seguimiento de humedales: reunión de información específica con fines de gestión atendiendo a hipótesis derivadas de actividades de evaluación, y aplicación de estos resultados de monitoreo a las actividades de gestión. (Obsérvese que la reunión de información en series temporales no impulsada por hipótesis sobre la evaluación se califica aquí de reconocimiento en lugar de monitoreo, tal como se indica en la Resolución VI.1.).

Observación de la Tierra: El término "observación de la Tierra" (OT) se utiliza cada vez más para referirse a la recopilación de información sobre los sistemas físicos, químicos y biológicos de la Tierra mediante distintos métodos y tipos de observaciones (p. ej., terrestres, de sensores aéreos o de satélites ambientales) (Mayer et al., 2018). En este informe la OT se refiere a la adquisición de datos mediante la teledetección por satélite.

Partes Contratantes: Países que son Estados miembros de la Convención de Ramsar sobre los Humedales, 169 a fecha de enero de 2016. Pueden ser Partes en la Convención todos los Estados que son miembros de las Naciones Unidas, de uno de los organismos especializados de esta o del Organismo Internacional de Energía Atómica o son Partes en el Estatuto de la Corte Internacional de Justicia.

Profesionales: Abarcan a los administradores de los humedales e interesados relacionados con ellos pero también otros de ámbitos afines, tales como gestores de áreas protegidas y personal de los centros de educación sobre los humedales (según se define en la Resolución XII.5).

Secuencia de tareas o flujo de trabajo: Procesamiento de datos paso por paso.

Servicio de Observación Vía Satélite de Humedales (SWOS): Proyecto del programa Horizonte 2020 financiado por la Comisión Europea para ayudar a los profesionales de los humedales a realizar un seguimiento de los humedales y a cumplir sus obligaciones en materia de presentación de informes para la aplicación de la política ambiental a distintas escalas (SWOSa).

Servicios de los ecosistemas: Beneficios que las personas reciben de los ecosistemas, incluidos los servicios de aprovisionamiento, regulación y culturales (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005).

Uso racional de los humedales: "El mantenimiento de sus características ecológicas, logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible" (véase la definición más reciente en la Resolución IX.1, Anexo A, 2005. La primera definición, de 1987, rezaba así: "Uso sostenible de los humedales para beneficio de la humanidad de manera compatible con el mantenimiento de las propiedades naturales del ecosistema" (Recomendación 3.3)).

Valores de los humedales: Beneficios percibidos para la sociedad, tanto directos como indirectos, que resultan de las funciones de los humedales. Estos valores incluyen el bienestar humano, la calidad ambiental y el albergar vida silvestre (aprobados por la Resolución VI.1).

***Wetlands Initiative* del GOT**: Forma parte del programa de trabajo del GOT para 2017-2019 y proporciona un marco de cooperación, desarrollo y comunicación en el campo de la OT de los humedales. La Secretaría de la Convención de Ramsar es uno de los responsables de esta iniciativa junto con Wetlands International y la Universidad de Bonn. También llamada GEO-Wetlands, ofrece una comunidad de prácticas como una plataforma de cooperación e intercambio de conocimientos y sirve así de marco para la preparación conjunta del Sistema Mundial de Observación de Humedales (GWOS, *Global Wetlands Observation System*) (GEO).