

Un mejor conocimiento para una mejor gestión

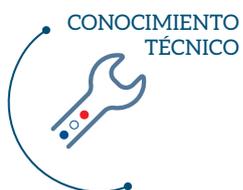
COMPLEMENTARIEDAD ENTRE DATOS DE CAMPO
Y DATOS SATELITALES

Hacia un mejor conocimiento
de la hidrología de campo

Índice

Editorial	p.3
Prólogo	p.4
PARTE 1 - Seguimiento cuantitativo de los recursos hídricos	p.6
DESAFÍOS	p.7
CONOCIMIENTO TÉCNICO	p.8
PARTE 2 - La calidad de las aguas, el seguimiento ecológico y la biodiversidad	p.12
DESAFÍOS	p.12
CONOCIMIENTO TÉCNICO	p.13
PARTE 3 - Usos agrícolas del agua	p.19
DESAFÍOS	p.19
CONOCIMIENTO TÉCNICO	p.21
Glosario	p.27

SÍMBOLOS DE LA COLECCIÓN EXPERTISE





CONOCIMIENTOS TÉCNICOS

- 1** p.8
Control de las sequías mediante la asimilación de datos de observaciones satelitales
- 2** p.9
Combinación de datos espaciales y modelización para complementar la información hidrometeorológica *in situ* cuando resulta difícil de adquirirla (Amazonas y Uganda)
- 3** p.9
Fortalecimiento de la vigilancia de los recursos hídricos con el programa espacial SWOT
- 4** p.10
Complementación de la información hidrológica *in situ* mediante la hidrología espacial: EJEMPLO DE LA CUENCA DEL CONGO
- 5** p.11
Aplicaciones relativas a la energía hidroeléctrica y la navegación en la cuenca del Congo
- 6** p.11
Nuevo método de medición por satélite de la profundidad de la nieve en las montañas
- 7** p.13
Seguimiento de la calidad de las aguas fluviales y de las masas de agua: EJEMPLO DE LA CATÁSTROFE MINERA EN BRASIL
- 8** p.14
Acceso a la variabilidad espacial y temporal de los flujos hidrosedimentarios para comprender mejor el ciclo estacional de las crecidas: EJEMPLO DEL LAGO TONLÉ SAP
- 9** p.15
Caracterización de la turbidez natural de las aguas costeras por satélite: EJEMPLO EN LAS PROXIMIDADES DE LA ROCHELLE
- 10** p.16
Vigilancia de los ecosistemas lacustres y del cambio climático: EJEMPLO DE LOS LAGOS FRANCESES
- 11** p.17
Seguimiento de los humedales mediterráneos: EJEMPLO DE LA REGIÓN MEDITERRÁNEA
- 12** p.18
Detección y predicción de la deriva de la proliferación de cianobacterias: EJEMPLO DE UNA APLICACIÓN OPERATIVA EN EL MAR BÁLTICO
- 13** p.21
Localización y cuantificación de los arrozales inundados: EJEMPLO DEL VALLE DEL RÍO SENEGAL
- 14** p.22
Cartografía de los cultivos de regadío
- 15** p.23
Cálculo del balance hídrico a escala de la parcela agrícola para evaluar el estrés hídrico y brindar asesoramiento en materia de riego
- 16** p.24
Estimación y mapeo de la humedad del suelo a escala subparcelaria
- 17** p.25
Identificación de los parámetros biofísicos de los cultivos para una agricultura de precisión
- 18** p.26
Un modelo de cultura espacializada

Editorial

Dadas las amenazas que pesan sobre las personas, los recursos hídricos y los ecosistemas, urge poner en marcha las medidas concretas que sean necesarias para la consecución colectiva de los objetivos fijados por el Acuerdo de París sobre el clima y la Agenda 2030.

En 2016, El Partenariat Français pour l'Eau (PFE), con su grupo de expertos, identificó el conocimiento como uno de los temas principales para la gestión del agua y del medio acuático, la adaptación al cambio climático y la modelización del clima. En este contexto, se movilizó y lanzó su colección temática «Expertise» ese mismo año, con su primer número. En este último se presenta en particular la experiencia de los actores públicos y privados franceses en este campo, tanto en lo referente a la adquisición de datos hidrológicos y meteorológicos, como a la implementación de sistemas funcionales de información sobre el agua o al desarrollo de modelos hidroclimáticos, que nos ayudarán a afrontar mejor los desafíos de mañana. Asimismo, señala la disminución del número de redes de adquisición de datos sobre el agua en muchos países, en particular en los países en desarrollo.

Posteriormente, el informe especial sobre el calentamiento global de 1,5 °C del IPCC reveló que la confianza en la información sobre las aguas dulces se califica de «media». De hecho, desde el quinto informe se ha avanzado poco en el conocimiento de este tema debido a la falta de datos, de conocimientos especializados regionalizados y de datos sobre el terreno. Ante estos hechos, el PFE y sus miembros propusieron continuar el trabajo sobre el conocimiento con un segundo número. El objetivo de este último es proporcionar a los responsables de la toma de decisiones de los países en desarrollo o emergentes las claves para aumentar el conocimiento de la hidrología y la calidad de los medios acuáticos mediante datos satelitales, que complementan los datos sobre el terreno.

En el presente número se ofrece, por tanto, una visión de conjunto de los grandes desafíos relacionados con el conocimiento, así como la presentación de un gran número de logros de los actores franceses en torno a tres grandes temas que son: el seguimiento cuantitativo de los recursos hídricos; la calidad de las aguas, el control ecológico y de la biodiversidad; los usos agrícolas del agua. Los proyectos elegidos reflejan la amplia gama de competencias de los actores franceses y su capacidad de innovación colectiva en torno a los grandes retos de nuestro siglo.



Jean Launay,
Presidente del Partenariat Français pour l'Eau

AUTORES

PARTE 1

Christophe Brachet, director general adjunto, Oficina Internacional del Agua (OIEau)
Blaise Dhont, director del estudio, Oficina Internacional del Agua (OIEau)

PARTE 2

Alice Andral, especialista en hidrología espacial – programa preparatorio SWOT-aval, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)

PARTE 3

Etienne Dressayre, director adjunto, agricultura y riego, BRL Ingénierie

COORDINACIÓN

Jennifer Fernando, gestora de proyectos, Partenariat Français pour l'Eau (PFE)
Jean Luc Redaud, Presidente del grupo de trabajo sobre el Agua y el Clima, Partenariat Français pour l'Eau (PFE)

DISEÑO GRÁFICO

Anne-Charlotte de Lavergne, www.ancharlotte.fr

IMPRESIÓN

Reprotechnique

NOVIEMBRE DE 2019

Prólogo

El agua es esencial para el desarrollo de nuestras sociedades porque es esencial para la salud, la agricultura, la energía, la biodiversidad, y su seguridad es un instrumento de paz. Sin embargo, los recursos hídricos siguen estando **insuficientemente conocidos, mal gestionados y mal protegidos** frente a las actividades humanas. Están sometidos a una **presión antropogénica cada vez mayor** debido a un gran número de factores, como el crecimiento demográfico, la rápida urbanización, la industrialización, la contaminación, la intensificación de la agricultura y los cambios en los hábitos de vida, que constituyen una amenaza cada vez mayor para los recursos hídricos.

La publicación de los tres últimos informes especiales del IPCC ha vuelto a activar la alarma sobre los riesgos asociados a un calentamiento global de 1,5°C y, en particular, sobre los impactos del cambio climático en los ya frágiles recursos hídricos. El calentamiento global, incluso de +1,5°C a finales de siglo en comparación con el periodo preindustrial, contribuirá al **cambio climático y, más particularmente, al cambio del ciclo del agua**.

En el continente, **estas diferentes presiones antropogénicas, que inciden tanto en la cantidad como en la calidad de los recursos**, afectan a las cuencas hidrográficas desde su fuente hasta su desembocadura en el mar, y a través de diferentes entornos como montañas, lagos y ríos, humedales y aguas subterráneas.

El gran ciclo del agua (natural)

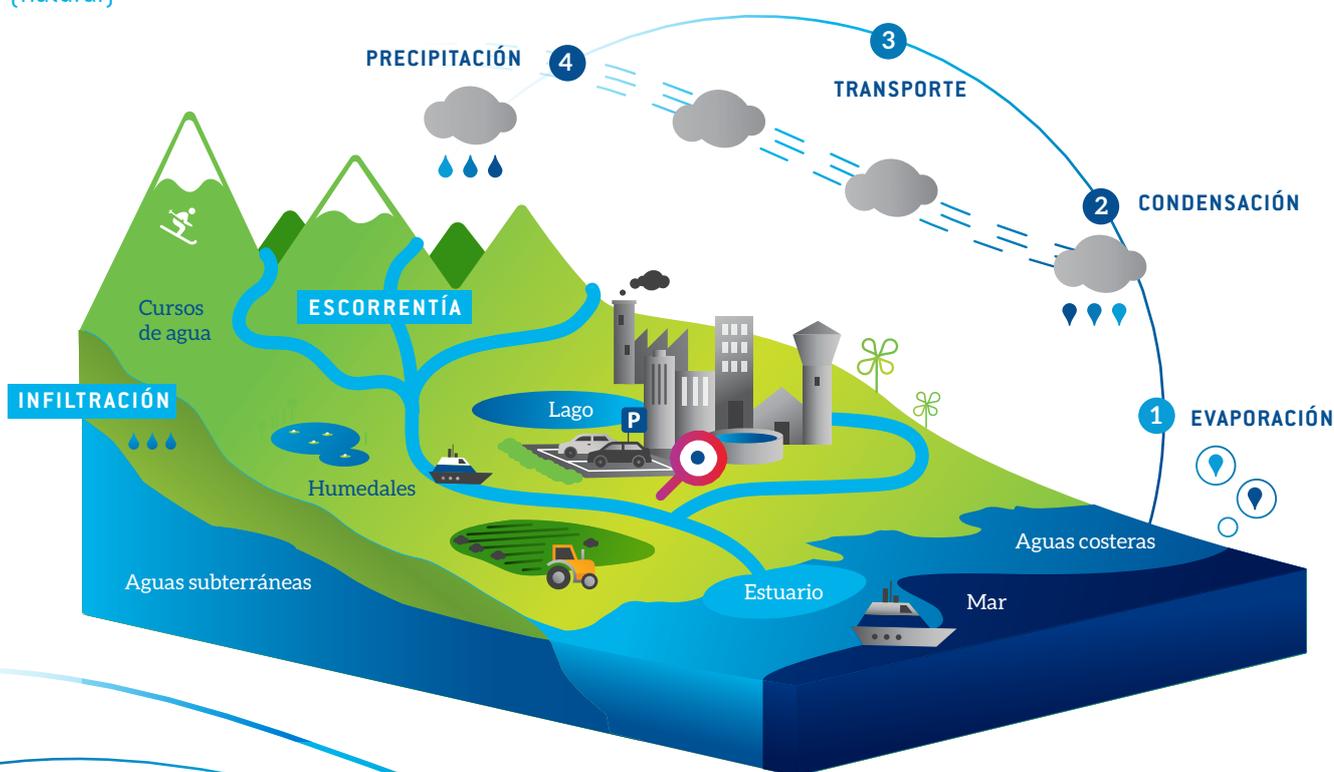


Figura 1 - Ciclo del agua

Además, **la biodiversidad se enfrenta actualmente a una grave crisis**: según la IPBES, cerca de un millón de especies animales y vegetales están amenazadas, es decir, una de cada ocho especies podría desaparecer en las próximas décadas. Los factores de cambio directos que se han identificado son, en orden descendente: cambios en el uso de la tierra y el mar; explotación directa de ciertos organismos; cambio climático; contaminación y especies exóticas invasoras.

En el actual contexto de calentamiento climático, crecimiento de la población mundial y merma de la biodiversidad, **deben aplicarse medidas concretas para avanzar hacia una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos y los medios acuáticos**. También son los objetivos del Acuerdo de París sobre el clima y de la Agenda 2030 con sus 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el sexto de los cuales está dedicado al agua limpia y al saneamiento. Los demás, a través de 12 objetivos relacionados con el agua, subrayan su carácter transversal.

Un buen conocimiento y la comprensión de los recursos hídricos son cruciales para una acción eficaz. A tal fin, es necesario **reforzar los conocimientos sobre el clima y el ciclo del agua a nivel regional y local**, en particular en lo referente a las aguas dulces, en cuyo caso el IPCC considera que la confianza es «media» debido a la falta de datos, de conocimientos especializados regionalizados y de datos sobre el terreno.

La adquisición de datos sobre hidrología y calidad de los medios acuáticos (ríos, lagos, humedales, etc.) es, por lo tanto, una actividad esencial para la toma de decisiones y, más concretamente, para la elaboración de planes de acción, su implementación y seguimiento. De hecho, la información hidrológica es necesaria porque permite una mejor planificación de los recursos hídricos y de las inversiones, una mejor gestión sectorial de los mismos, una mejor planificación territorial y un mejor apoyo a las operaciones durante un evento de gran magnitud (gestión de crisis de emergencia).

A pesar de la creciente necesidad de datos, un peritaje realizado por el PFE a través de su primer componente revela⁴, sin embargo, que **la densidad de las redes de medición hidrométrica sobre el terreno está disminuyendo, e incluso desapareciendo, en todo el mundo, y más concretamente en los países en desarrollo**.

Gracias al desarrollo de la tecnología espacial desde los años sesenta, **la observación de la Tierra desde el espacio permite vigilar los fenómenos naturales o antropogénicos en tiempo casi real en distintos puntos del planeta y en diferentes momentos. Hace posible completar, reconstruir y densificar los conjuntos de datos in situ existentes y extraer de ellos, a través de modelos y herramientas de procesamiento y análisis de los parámetros físicoquímicos del medio** (turbiedad, nivel de agua, etc.), con el fin de fundamentar de forma más adecuada la toma de decisiones. Por otro lado, el carácter sinóptico de las observaciones espaciales (cobertura espacial, frecuencia de las revisiones, etc.) ha permitido mejorar la cobertura de las masas de agua. Los datos satelitales permiten llegar a zonas en las que no existen datos de campo, y a un coste inferior al de la instrumentación sobre el terreno. Son menos precisos, pero su exactitud está mejorando, lo que hace que sean suficientes en un número cada vez mayor de aplicaciones.

A continuación se ofrecen ejemplos concretos del uso de datos satelitales, con el fin de ayudar a los responsables de la toma de decisiones en relación con tres problemáticas de gran importancia relacionadas con los recursos hídricos y los medios acuáticos:

- el seguimiento cuantitativo de los recursos hídricos;
- la calidad del agua, el seguimiento ecológico y la biodiversidad;
- los usos agrícolas del agua.

⁴<http://www.partenariat-francais-eau.fr/en/wp-content/uploads/sites/2/2018/03/Water-climate-and-development-Better-knowledge-for-better-management-October-2016-.pdf>

Seguimiento cuantitativo de los recursos hídricos

DEFINICIÓN

¿Qué es la altimetría y la hidrología espacial?

La hidrometría se ocupa de medir el flujo de aguas continentales, superficiales o subterráneas. En la mayoría de los casos, esta disciplina se refiere a la medición del caudal de los ríos, es decir, la cantidad de agua que fluye a través de una sección determinada de un río o de una corriente de agua por unidad de tiempo. Sin embargo, el seguimiento cuantitativo de los recursos hídricos no se limita a la esorrentía de las aguas superficiales e incluye otras actividades como la medición de la humedad del suelo o la cobertura de nieve.

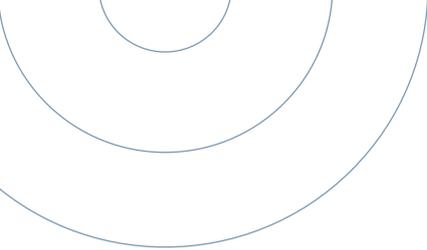
La medición directa del caudal es una operación compleja, por lo que la mayoría de las estaciones hidrométricas registran el nivel del agua, que se transforma en caudal mediante una curva de ajuste (relación caudal/altura) específica para cada lugar de medición.

Durante mucho tiempo, las mediciones del nivel de agua consistían en lecturas visuales (normalmente diarias) con escalas graduadas. Con el paso del tiempo, el proceso se ha automatizado mediante la instalación de sensores para controlar con mayor precisión las variaciones de altura, adaptándose a los diferentes tipos de régimen hidrológico de los ríos.

Más recientemente, con el desarrollo de las herramientas espaciales, han surgido nuevas técnicas de medición por satélite: la altimetría espacial.

Este método se basa en satélites equipados con un dispositivo de radar (altímetro) que sobrevuelan regularmente una serie de puntos de la superficie del globo terráqueo (órbita baja). El tiempo transcurrido entre la transmisión de la señal de muy alta frecuencia del radar y la recepción del eco permite medir la distancia entre el satélite y las masas de agua (océanos, lagos, grandes ríos) y, por tanto, la altitud de estas últimas. La altimetría espacial está demostrando ser una tecnología sumamente prometedora, junto con la hidrometría «clásica» sobre el terreno, para el seguimiento de los recursos hídricos.

Los datos satelitales de los programas espaciales de observación de la Tierra (como el programa europeo Copernicus) también se utilizan para medir variables que no sean el nivel del agua. También permiten hacer un seguimiento de la evolución de las zonas acuáticas, de las superficies nevadas o de la humedad del suelo, con una cobertura global y resoluciones espaciotemporales en constante mejora: hablamos de la hidrología espacial. No debe confundirse con la hidrología espacializada distribuida, en la que la palabra espacial se percibe como la consideración de las heterogeneidades del suelo.



DESAFÍOS



LA ALTIMETRÍA ESPACIAL, UNA HERRAMIENTA CLAVE PARA EL HIDRÓLOGO DEL MAÑANA

El conocimiento de los niveles y caudales de agua es esencial para comprender su dinámica y para una gestión sostenible y razonada de los mismos. Por ejemplo, las estaciones hidrométricas de un río son necesarias para:

- El conocimiento del régimen hidrológico y de los riesgos naturales conexos (crecidas, sequías) mediante la elaboración de largas series cronológicas (algunas de ellas de más de 100 años de antigüedad);
- Los sistemas de alerta de crecida de aguas para la protección de los bienes y de las personas;
- El dimensionamiento de las instalaciones hidráulicas;
- La gestión operativa de las instalaciones hidráulicas (producción hidroeléctrica, contención de crecidas, apoyo en épocas de estiaje, etc.);
- El control reglamentario, en particular en lo que se refiere a las obligaciones de restitución de caudales (por ejemplo, los caudales de estiaje objetivo aguas abajo de las construcciones);
- El seguimiento del buen estado ecológico de los ríos y humedales depende de ello.

En la actualidad, el interés por la hidrometría se ve reforzado por los retos que plantea el aumento de los usos del agua (domésticos, de riego, industriales, hidroeléctricos, recreativos, etc.) y la presión que se ejerce sobre los recursos, el cambio climático y el aumento de la vulnerabilidad de las poblaciones, así como la restauración y la protección de los entornos naturales y de su biodiversidad.

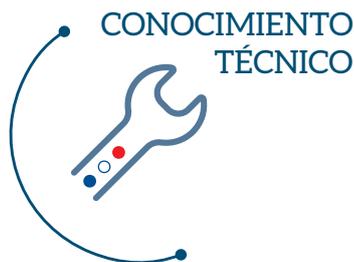
En Francia metropolitana existen actualmente cerca de 3.500 estaciones hidrométricas, de las cuales más del 80% son teletransmitidas en tiempo real, lo que coincide con la media europea. En otras partes del mundo, sin embargo, el número de estaciones hidrométricas es reducido y tiende a disminuir, debido, en particular, al coste de su mantenimiento. Este es el caso, por ejemplo, del África subsahariana, una región especialmente vulnerable al cambio climático y a sus efectos en el ciclo del agua. En este tipo de zonas geográficas, caracterizadas por grandes ríos y zonas de difícil acceso, como la cuenca del río Congo, el potencial de la altimetría espacial es especialmente elevado.



CENTRO DE INTERÉS

El grupo de trabajo sobre hidrología espacial: una iniciativa francesa

En 2014 se creó un grupo de trabajo sobre hidrología espacial que, posteriormente, se consolidó mediante un acuerdo de grupo firmado en la COP22 de Marrakech en 2016. Actualmente está dirigido por la OIEau e incluye las siguientes instituciones francesas: CNES, IRD, AFD, IRSTEA, BRIL, CNR y CLS. El trabajo del grupo se centra en el uso de datos satelitales para el control de los recursos hídricos, en particular, la creación de estaciones virtuales. De hecho, cualquier intersección de una masa de agua continental con el trazado en tierra de un satélite equipado con un altímetro constituye, tras la corrección de la medición, una estación hidrológica virtual que puede utilizarse para controlar la evolución de la altitud de la masa de agua a lo largo del tiempo. La calibración de las estaciones virtuales se realiza mediante estaciones en el terreno y la transición de altitudes a caudales es uno de los grandes proyectos en curso dentro del grupo. Desde 2003, y con la ayuda del servicio Hydroweb (<http://hydroweb.theia-land.fr/?lang=en&>), se ha creado gradualmente una base de datos sobre las variaciones del nivel del agua en los lagos y ríos del mundo, basada en la altimetría satelital. En la plataforma están disponibles y se pueden seguir varios miles de estaciones virtuales, en tiempo real o en diferido. Por otro lado, se controlan más de 150 lagos y, en un gran número de ellos, se miden los cambios de extensión y volumen. El servicio Hydroweb tiene por objeto informar a los usuarios, sean o no científicos, sobre las variables de estado vinculadas a la hidrología de las superficies continentales a partir de distintos datos satelitales. La mayor parte de estas variables se incluyen en la lista de variables climáticas esenciales establecida por el Sistema Mundial de Observación del Clima. El servicio está alojado en la plataforma del grupo nacional THEIA y está gestionado por la sociedad CLS bajo la coordinación del LEGOS, el IRD y el CNES.



Control de las sequías mediante la asimilación de datos de observaciones satelitales

Jean-Christophe Calvet (CNRM)

El Centro Nacional de Recherches Météorologiques (Universidad de Toulouse, Météo-France, CNRS) ha desarrollado un sistema de asimilación de datos que puede funcionar a escala mundial para todo tipo de vegetación (praderas, cultivos, bosques, sabanas). Esta herramienta se llama LDAS-Monde (<http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article1022&lang=en>). Este sistema integra las observaciones satelitales de la vegetación y la humedad de los suelos en un modelo del sistema suelo-planta, el modelo de Interacción Tierra-Biosfera-Atmósfera (ISBA). ISBA permite disponer de información continua en el tiempo y generar multitud de variables coherentes entre sí (biomasa de la vegetación, déficit o exceso de agua en el suelo, evapotranspiración, flujo de carbono, temperatura superficial). Las observaciones satelitales se utilizan para mejorar la calidad de las variables simuladas. El modelo utiliza datos meteorológicos disponibles a baja resolución espacial a escala mundial (de 10 a 25 kilómetros). A nivel regional, la información meteorológica está disponible a mayor resolución espacial. Por ejemplo, el sistema de predicción meteorológica numérica AROME-France de Météo-France produce esta información con una resolución de 1,3 km en una gran parte de Europa occidental. LDAS-Monde utiliza datos producidos por el servicio Copernicus Global Land: el índice de área foliar y un índice de humedad del suelo. Estos productos están disponibles desde hace varios años, por lo que es posible calcular las anomalías en la humedad del suelo y en el crecimiento de la vegetación. Implementado a escala mundial, LDAS-Monde permite detectar episodios de sequía y, a continuación, el sistema se utiliza con mayor resolución espacial en la región o regiones en cuestión.

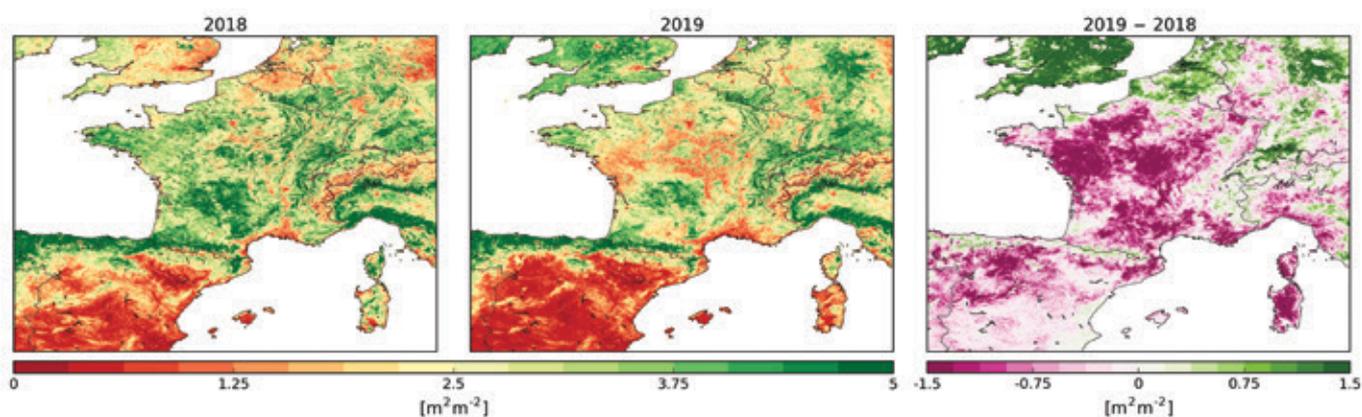


Figura 2 - Efecto de las olas de calor de 2018 y 2019 sobre la vegetación. El índice de área foliar de la vegetación del mes de julio se presenta para los años 2018 y 2019. Se trata de un valor simulado por el modelo ISBA de Météo-France tras la incorporación de los datos satelitales del servicio Copernicus Global Land. La diferencia entre estos dos mapas ilustra las graves sequías que afectaron al sur de Inglaterra, Bélgica, Países Bajos y Baja Sajonia en 2018 (en verde), y a la práctica totalidad de Francia, el norte de España y Cerdeña en 2019 (en violeta).



Combinación de datos espaciales y modelización para complementar la información hidrometeorológica *in situ* cuando resulta difícil de adquirirla (Amazonas y Uganda)

Laurent Tocqueville (BRLI) , Yoann Aubert (BRLI), Thomas Legay (BRLI), Julien Verdonck (BRLI)

Los objetivos de «HydroSIM Amazonas» y de «Smart Basin Uganda» son combinar datos espaciales de altimetría y pluviometría con herramientas de modelización hidrológica, y vincularlos a una red meteorológica optimizada en el terreno para correlacionar la «verdad de campo» y los resultados de la simulación. Estos dos proyectos proporcionan un servicio en «tiempo real» de seguimiento y previsión de los niveles y caudales de agua en las grandes cuencas y, por lo tanto, proporcionan a un gestor de cuenca la información hidrometeorológica esencial para la gestión estratégica de sus recursos hídricos. Este servicio Smart Basin se basa en datos históricos y en tiempo real recogidos por los distintos satélites de altimetría (Jason 2 y 3, Sentinel-3A y -3B) y la constelación meteorológica Global Precipitation Measurement (GPM). Parcialmente desplegada en las cuencas del Amazonas, del Nilo y del Congo, Smart Basin podría, en un futuro próximo, mejorar aún más con la llegada del satélite SWOT. Con el apoyo de la plataforma de servicios WIMES (Water Information Management Ecosystem and Services) desarrollada por BRLI, Smart Basin ofrece una amplia gama de funciones hidrometeorológicas para la explotación de la red, así como diversos servicios web para garantizar una fácil integración de la misma en el sistema de gestión de la información del gestor. Smart Basin genera datos de altura y caudal a través de modelos hidrológicos GR (modelos de lluvia-caudal desarrollados por IRSTEA), y ciertos parámetros de calidad del agua, como la turbidez (a través del modelo agroecológico Soil and Water Assessment Tool - SWAT), que es esencial para que el operador de la presa pueda anticipar la llegada de aportes de sedimentos y, posiblemente, desviar la presa, limitando de este modo la sedimentación de su embalse.



Fortalecimiento de la vigilancia de los recursos hídricos con el programa espacial SWOT

Philippe Maisongrande (CNES)

El seguimiento de los recursos hídricos a escala mundial es un importante reto social en el que las tecnologías espaciales tienen un papel decisivo que desempeñar. En efecto, la descripción cada vez más precisa del ciclo del agua en tierra permite un mejor control de los recursos hídricos del planeta (actividades humanas como el agua potable y el saneamiento, el riego, la navegación fluvial, la urbanización, la producción de energía hidroeléctrica, etc.). En un contexto programático internacional de observación de la Tierra, numerosas misiones proporcionan información más o menos directa sobre cada uno de los componentes del ciclo del agua, incluida la futura misión CNES/NASA SWOT (topografía de los océanos y de las aguas superficiales), cuya puesta en marcha está prevista en 2021. El objetivo principal de SWOT es reunir las necesidades de hidrólogos y oceanógrafos en un único satélite, incluyendo una colección de datos hidrográficos inéditos a escala mundial, tales como los sistemas costeros y estuarios. En el caso de las superficies continentales, la misión SWOT medirá los niveles de agua de ríos, lagos y zonas inundadas utilizando un nuevo concepto técnico: la altimetría interferométrica de base ancha. Esta misión proporcionará imágenes de los niveles de agua con precisión centimétrica, las pendientes de las masas de agua y su anchura – en el caso de los ríos de más de 100 metros de ancho y de las corrientes de agua, los lagos y los embalses de más de 250 x 250 metros – con una resolución temporal del orden de la semana.



Complementación de la información hidrológica *in situ* mediante la hidrología espacial: EJEMPLO DE LA CUENCA DEL CONGO

Christophe Brachet (OIEau), Blaise Dhont (OIEau), Pierre-Olivier Malaterre (Irstea), Stéphane Debard (IRD), Stéphane Delichère (BRLI), Sébastien Chazot (BRLI), Damien Barral (BRLI)

El programa preparatorio SWOT-aval tiene por objeto facilitar la utilización de productos espaciales en hidrología, en particular en previsión de los datos SWOT que pronto estarán disponibles, y fomentar el desarrollo de servicios y aplicaciones. La cuenca del Congo fue elegida como cuenca piloto en 2016 y un acuerdo entre 7 instituciones francesas (que forman el «Grupo de trabajo sobre hidrología espacial» y que reúne al CNES, el IRD, el Irstea, la AFD, la OIEau, BRLI y la CNR) fue firmado en la COP22 de Marrakech con el objetivo de iniciar una colaboración con la Comisión Internacional de la Cuenca Congo-Oubangui-Sangha (CICOS), la agencia de cuencas transfronterizas del río Congo. Con el apoyo de la AFD, este trabajo permitió la construcción conjunta de un Sistema de información hidrológica (SIH) con la CICOS. Este sistema de información es uno de los primeros en integrar datos altimétricos tanto en el terreno como en el espacio en un único entorno. El SIH ha sido diseñado para alojar servicios aguas abajo de la forma más automatizada posible, y la arquitectura elegida permite el intercambio de información y el desarrollo de módulos complementarios. Los datos de altimetría espacial se integran en el SIH en forma de estaciones virtuales extraídas de la plataforma Hydroweb que proporcionan niveles de agua en la intersección de trazados altimétricos y masas de agua (la cuenca del Congo tenía 518 estaciones virtuales en febrero de 2019). Los datos satelitales completados con datos procedentes de bases de datos mundiales y algunas escasas estaciones sobre el terreno han permitido generar modelos hidráulicos de estos ríos y curvas de calibración para calcular los caudales a partir de datos satelitales altimétricos. Los desafíos actuales de la CICOS consisten en dar a conocer el SIH a los actores pertinentes de los distintos países, organizar intercambios de datos con los servicios hidrológicos nacionales, hacer que la herramienta sea sostenible y hacer que evolucione, en particular, con el desarrollo de los servicios descendentes.



Figura 3 - Estaciones virtuales en la cuenca del Congo accesibles a través del servicio Hydroweb (<http://hydroweb.theia-land.fr/?lang=en&>, noviembre de 2019)



Aplicaciones relativas a la energía hidroeléctrica y la navegación en la cuenca del Congo

Sébastien Legrand [CNR]

CNR [Compagnie Nationale du Rhône] es el concesionario del río Ródano con 3 misiones: producción hidroeléctrica, navegación y riego. La CNR utiliza sus conocimientos técnicos en otros ríos, por lo que ha desarrollado, para la CICOS, servicios relacionados con la navegación y la hidroelectricidad utilizando la altimetría espacial. En cuanto al componente hidroeléctrico, la CNR calculó y a continuación mapeó un indicador para identificar los tramos con las mejores condiciones de caudal y pendiente para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas del Congo y del Ogooué. Este indicador se basa en la altimetría espacial para el cálculo de la pendiente, datos de caudal sobre el terreno o reconstruidos, datos de precipitaciones y un modelo digital de terreno [MDT].

En la actualidad, este método es útil en la búsqueda de proyectos hidroeléctricos de varias decenas de MW. En el futuro, el satélite SWOT mejorará este método. El componente de navegación ha permitido la implementación de un servicio operativo para mejorar la navegación en el río Sangha, afluente del Congo. Dado que la escala hidrométrica de Ouessou en el Sangha es un indicador de navegabilidad observado a diario, la CNR ha desarrollado un modelo de pronóstico del nivel de agua a esta escala, utilizando como datos de entrada los niveles de agua de los días anteriores y los datos de precipitaciones. También se ha evaluado la aportación de los datos altimétricos espaciales, recogidos por el satélite Jason-2 e incorporados al modelo.



Nuevo método de medición por satélite de la profundidad de la nieve en las montañas

Simon Gascoin [CNRS, CESBIO]

El agua procedente del deshielo del manto nevado se utiliza a menudo para la generación de energía hidroeléctrica y abastece a los canales de riego de las zonas cultivadas aguas abajo. Por lo tanto, es importante conocer las reservas de nieve acumuladas al final del invierno en las cuencas de drenaje de montaña, especialmente para los responsables de las presas. Para estimar esta cantidad, la red de medición de suelo es generalmente insuficiente en vista de la variabilidad natural de la profundidad de la nieve. Recientemente, se ha desarrollado un nuevo método para medir el volumen anual de nieve disponible en las montañas basado en observaciones satelitales de muy alta resolución como Pleiades o WorldView. Se establece un mapa de la profundidad de la nieve por píxel con una resolución de 2 metros. Para ello, se toman pares de imágenes estereoscópicas en verano y al final del invierno. Cada par estereoscópico genera un modelo digital de elevación [MDE] que da una altitud por píxel de 2 metros. La altura de nieve se obtiene como resultado de la diferencia entre los dos MDE. El MDE de verano se puede utilizar como referencia durante varios años, de modo que lo único que hay que hacer es obtener un par estereoscópico cada año al final del invierno para saber la cantidad de nieve disponible antes de la estación de deshielo. El método fue validado en Francia con imágenes de Pleiades de una cuenca pirenaica utilizando mediciones de profundidad de nieve obtenidas por muestreo manual y con drones. Los resultados indican que el mapa de la profundidad de nieve con una resolución de 2 metros tiene una precisión de unos 50 centímetros sobre la profundidad de nieve. Se están llevando a cabo estudios para determinar mejor el grado de certeza de este nuevo producto basado en campañas Lidar [teledetección láser] aerotransportada. Por el momento, varios equipos se han embarcado en la explotación de este método, el único existente hasta la fecha, para determinar la profundidad de la nieve en las montañas desde el espacio.



Figura 4 - Campaña sobre el terreno en los Pirineos para la medición de la profundidad de la nieve (sondeo manual y medición con drones) con el fin de validar los resultados del método basado en el análisis de las imágenes del satélite Pleiades.

La calidad de las aguas, el seguimiento ecológico y la biodiversidad

DEFINICIÓN

¿Qué parámetros sobre la calidad del agua pueden ser controlados por satélite?

Los parámetros de calidad del agua que pueden ser evaluados por los generadores de imágenes ópticas son la turbidez, la temperatura de la superficie, la clorofila (un indicador de la biomasa del fitoplancton, el estado trófico y nutricional), la materia orgánica disuelta coloreada (utilizada como indicador de la materia orgánica y el carbono acuático), los sólidos en suspensión y las partículas no algales.

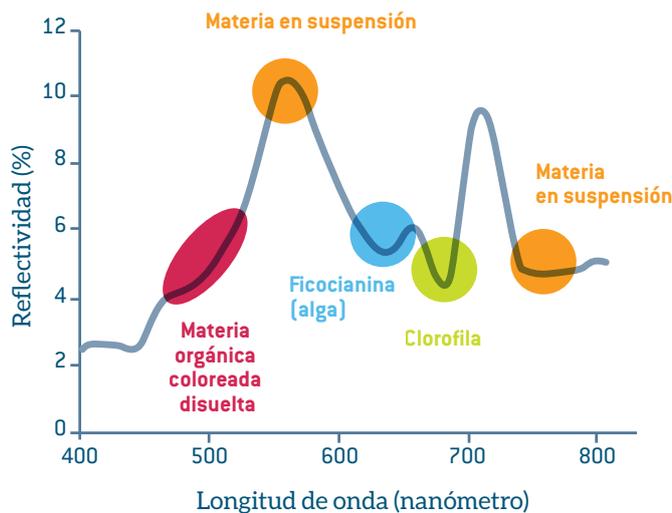


Figura 5 - Reflectividad (relación entre la energía reflejada y la energía incidente total) en función de la longitud de onda típica del agua continental y de las firmas espectroscópicas de los parámetros de calidad del agua.

DESAFÍOS

CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DEL SEGUIMIENTO ECOLÓGICO PARA COMPRENDER Y ANTICIPAR MEJOR LOS CAMBIOS CLIMÁTICOS Y DE LA BIODIVERSIDAD

Las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio ambiente que alteran el clima, perturban el ciclo hidrológico y alteran las cuencas hidrográficas y la biodiversidad. Ante estos retos, es necesario garantizar un seguimiento regular de las aguas interiores para anticiparse a los cambios y definir las áreas de mejora. Sin embargo, el deterioro de la calidad de las aguas continentales y costeras se ha convertido y seguirá siendo un problema medioambiental, social y económico de primer orden. El seguimiento de la calidad del agua constituye, por tanto, uno de los elementos más importantes de la gestión medioambiental de los ecosistemas acuáticos. En Europa, está definido por la Directiva marco del agua, que exige el buen estado de las masas de agua.

Al observar el color del agua, los satélites proporcionan información sobre las concentraciones de los componentes que producen esos colores. En términos más generales, la observación de la Tierra permite actualmente seguir en tiempo casi real y con resoluciones temporales y espaciales cada vez más precisas (cerca de 10 a 30 metros) diferentes parámetros de calidad del agua (véase el apartado Definición) y otras características medioambientales ópticas (turbidez, claridad del agua), detectar cambios en el uso del suelo que afectan a los humedales y a la biodiversidad. Estas observaciones y mediciones son un complemento de la red sobre el terreno para lograr un seguimiento ecológico mundial.

En este capítulo se exponen ejemplos concretos del uso de la observación de la Tierra para el control de la calidad de las aguas continentales y costeras, el seguimiento ecológico y los problemas de conservación de los humedales. Las técnicas e instrumentos relacionados con la tecnología espacial ya están lo suficientemente perfeccionados como para ser utilizados en aplicaciones operativas, ya sea como apoyo a la gestión de situaciones de crisis, la conservación de los ecosistemas costeros y de los humedales, así como para la calidad de las aguas de baño. También se hará hincapié en la vigilancia de las zonas lacustres, que constituyen los verdaderos guardianes del clima: el lago Tonlé Sap en Camboya, donde las presiones antropogénicas son elevadas, y en Francia, donde el seguimiento de los ecosistemas lacustres es un verdadero reto a la hora de dar cumplimiento a la Directiva marco sobre el agua.

CONOCIMIENTO TÉCNICO



Seguimiento de la calidad de las aguas fluviales y de las masas de agua: EJEMPLO DE LA CATÁSTROFE MINERA EN BRASIL

Jean-Michel Martinez, Guillaume Morin, Gérard Cochonneau, William Santini (GET, Universidad Paul Sabatier, IRD, CNRS)

En los últimos años, el Institut de Recherche pour le Développement (IRD), junto con el Laboratoire Géosciences Environnement Toulouse (GET) y el apoyo del CNES, han desarrollado cadenas de tratamiento automatizadas para el seguimiento de la calidad del agua por satélite que, a continuación, son validadas con los asociados formalizados. En particular, se ha establecido una asociación con la Agencia del Agua de Brasil para supervisar las cuencas fluviales más grandes del país mediante imágenes satelitales, incluida la creación de un portal de Internet específico (<http://hidrosat.ana.gov.br>). Los primeros trabajos de desarrollo y validación se iniciaron en 2009 con el uso de imágenes ópticas del MODIS de la NASA (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) que permiten un seguimiento diario de grandes masas de agua. Estas cadenas permiten explotar la información de reflectividad del agua para extraer parámetros de calidad de las aguas a través de diversos pretratamientos para corregir imágenes satelitales en bruto (correcciones atmosféricas, efectos de pendiente, efectos de espejo de agua, etc.). Las imágenes se utilizan para detectar la eutrofización en lagos artificiales o para estimar los flujos de sedimentos en los ríos que podrían utilizarse para apoyar la gestión de crisis en caso de desastres medioambientales. Los datos satelitales fueron utilizados durante el desastre minero en Brasil en enero de 2019, que causó más de 300 víctimas mortales y liberó varios millones de toneladas de residuos mineros en el medio ambiente. Las imágenes de los satélites Landsat y Sentinel-2 permitieron seguir la evolución de los vertidos en el río que drenaba la región a lo largo de más de 200 kilómetros en el punto álgido de la crisis. En un segundo tiempo, estas mismas imágenes se utilizaron para medir la recuperación del medio ambiente varios meses después del desastre. Actualmente, se está trabajando en la nueva generación de imágenes satelitales de acceso abierto, como las de la serie Sentinel del programa Copernicus. En comparación con las imágenes del satélite MODIS, permiten controlar pequeñas masas de agua (algunas decenas de metros) con una precisión sin precedentes. Estas nuevas imágenes representan un gran avance y permiten prever un sistema de control de la calidad del agua de los ríos y lagos a gran escala en todos los continentes. Los primeros productos de control de la calidad del agua por satélite están disponibles en varios lugares del mundo en el sitio THEIA, el portal francés de superficies continentales.

PARA MÁS INFORMACIÓN:
<https://theia.cnes.fr>



Acceso a la variabilidad espacial y temporal de los flujos hidrosedimentarios para comprender mejor el ciclo estacional de las crecidas: EJEMPLO DEL LAGO TONLÉ SAP

Charles Verpoorter (LOG, Universidad de Lille, Universidad de Littoral Côte d'Opale, CNRS, UMR 8187), Frédéric Frappart (LEGOS, Universidad de Toulouse, IRD, CNES, CNRS, UPS), Sylvain Biancamaria (LEGOS, Universidad de Toulouse, IRD, CNES, CNRS, UPS), Thomas Combes (LOG, Universidad de Lille, Universidad de Littoral Côte d'Opale, CNRS, UMR 8187) y Jules Greusard (LEGOS, Universidad de Toulouse, IRD, CNES, CNRS, UPS; ISPA, INRA, Bordeaux Sciences Agro)

Desde la década de 1990, la cuenca del Tonlé Sap en Camboya ha visto aumentar su población, con más de 16 millones de personas viviendo en las orillas del lago. Este hidrosistema está sujeto a muchas presiones antropogénicas (urbanización, deforestación, sobrepesca, contaminación del suelo y el impacto de las presas aguas arriba). La comprensión de los procesos hidrológicos y sedimentarios que los gobiernan y de sus características biogeoquímicas es un paso esencial en el control de estos recursos hídricos y, en términos más generales, en la comprensión global. El lago de agua dulce más grande del sudeste asiático, el lago Tonlé Sap, tiene una superficie mínima de aproximadamente 2.500 km². Está sometido a un clima monzónico subtropical y a una pluviometría elevada (unos 1.400 mm/año). Tiene la particularidad de estar directamente vinculado a las crecidas y decrecidas del principal río al que está unido: el Mekong. En la estación húmeda, el río Mekong alimenta el lago, mientras que en la estación seca el lago fluye hacia el río. Por lo tanto, el lago actúa como un «tope» para la hidrología del Mekong, aguas abajo de la confluencia con el río Tonlé. En este sentido, investigadores del LOG y del LEGOS, apoyados por el CNES, están estudiando la variabilidad hidrosedimentaria del lago Tonlé Sap mediante sistemas de teledetección espacial multisensorial (Sentinel-2, MERIS, SeaWiFS). Estos trabajos permitieron mapear los sólidos en suspensión, la clorofila-a, los niveles de agua del lago, su extensión y sus variaciones de volumen, permitiéndonos así realizar un seguimiento preciso de la variabilidad hidrosedimentaria desde 2002 hasta 2019 (Figura 6).

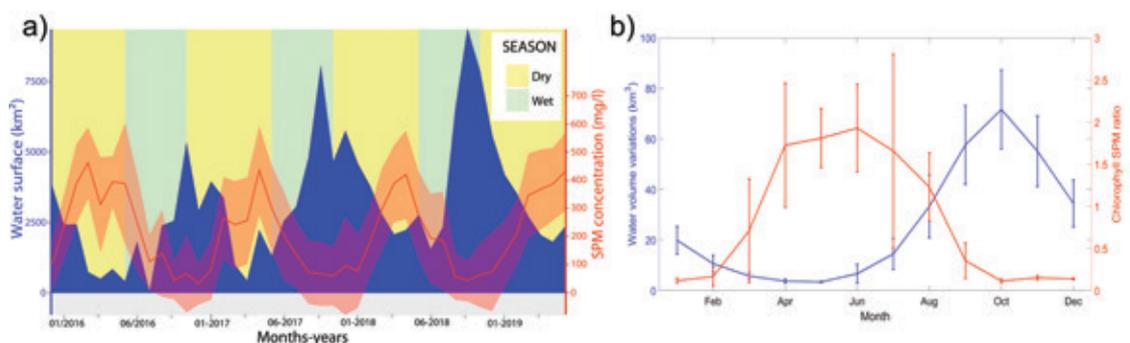


Figura 6 - Identificación de los ciclos estacionales de los flujos hidrosedimentarios (sólidos en suspensión, clorofila-a, superficie del agua, volumen), en respuesta a las crecidas/decrecidas del lago Tonlé Sap mediante el análisis de imágenes: a) multispectrales Sentinel-2 y b) OC-CCI (Ocean Color Climate Change Initiative) y altimétricas.

Los ciclos estacionales de crecidas/decrecidas (Figura 6), con intensidades y ritmos marcados, controlan las variaciones en las concentraciones de sólidos en suspensión y clorofila. También se puso de relieve la relación entre estas variaciones de volumen y los índices climáticos «El Niño Southern Oscillation» y «Pacific Decadal Oscillation», así como un efecto de memoria del volumen del lago del año anterior sobre sus variaciones. La continuidad de este seguimiento en sitios «centinelas» como el Tonlé Sap es esencial para comprender a largo plazo los impactos de los flujos hidrosedimentarios desde el punto de vista hidrológico, ecológico y económico, así como para anticipar cambios significativos en estos entornos sensibles.



Caracterización de la turbidez natural de las aguas costeras por satélite: EJEMPLO EN LAS PROXIMIDADES DE LA ROCHELLE

Virginie Lafon, Stéphane Kervella, Aurélie Dehouck, Olivier Regniers (i-Sea)

Antes de que se lleven a cabo obras marinas, deben realizarse estudios para predecir los posibles efectos de la re-suspensión en el medio marino, en particular en los compartimentos biológicos más sensibles, como las especies fijadas. Para apoyar estos estudios de impacto, es necesario definir con precisión los rangos de turbidez natural que caracterizan al lugar. En este contexto, la herramienta satélite complementa los dispositivos tradicionales con una visión real y dinámica de la situación en toda el área de construcción y en las costas adyacentes. De hecho, las imágenes de satélite, obtenidas varias veces al día, permiten crear un archivo de mapas de contenidos de materia en suspensión o turbidez de varios cientos de km². Para obtener la mejor estimación posible de estos dos parámetros, las leyes físicas que permiten su cálculo se calibran directamente sobre el terreno. En concreto, se procesan varios años de archivos de imágenes VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*), MODIS, Sentinel-3 para proporcionar medias diarias de turbidez. Un análisis estadístico de esta base de datos, realizado a partir de forzamientos hidrodinámicos y meteorológicos locales, permite la determinación de los climas de turbidez y la extracción de niveles medios y extremos de turbidez característicos de las diferentes masas de agua presentes. Estos resultados se utilizan directamente para ayudar a establecer los umbrales de alerta que deberán respetarse durante la fase de construcción. Además de este paso inicial de caracterización, las imágenes Sentinel-2 y Landsat, con una resolución más fina del terreno, se utilizan para ayudar a controlar la turbidez generada durante la fase de construcción y limitar su impacto. Una vez más, las series de imágenes se convierten en turbidez para determinar estadísticamente las zonas más adecuadas para la instalación de las sondas que se utilizarán durante la obra como parte de los sistemas de seguimiento y alerta en tiempo real. Estos enfoques innovadores han sido galardonados con el premio *Port du Futur 2019* en la categoría «Digital», concedido conjuntamente a i-Sea y Port Atlantique La Rochelle, pionero en la utilización de esta nueva tecnología.

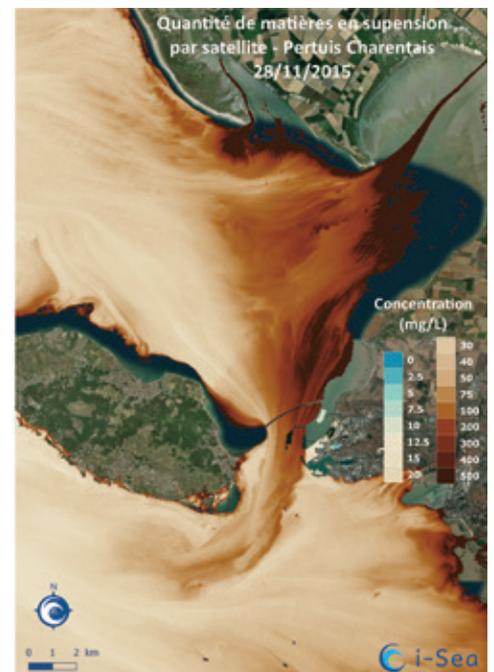


Figura 7 - Campaña de medición de embarcaciones (izquierda) y mapa de sólidos en suspensión (concentración en mg/L) generado por satélite el 28 de noviembre de 2015 en el Pertuis Charentais.



Vigilancia de los ecosistemas lacustres y del cambio climático: EJEMPLO DE LOS LAGOS FRANCESES

Thierry Tormos, Pierre-Alain Danis (AFB, ECLA (Ecosystèmes Lacustres) R&D division)

El funcionamiento de los ecosistemas lacustres, la calidad del agua, así como los bienes y servicios que de ellos dependen, están estrechamente vinculados a la temperatura del agua. Con el cambio climático actual, es esencial tener en cuenta las trayectorias térmicas de las masas de agua con el fin de (i) desarrollar estrategias para atenuar los impactos antropogénicos, y (ii) mantener la biodiversidad de estos ecosistemas. La Agencia Francesa para la Biodiversidad (AFB) presta especial atención a los impactos de este cambio en estos ecosistemas. Es la instigadora de la implementación de la RNT, una red de vigilancia continua (frecuencia horaria) y a largo plazo de la temperatura de las masas de agua. En la medida en que este tipo de seguimiento es únicamente puntual desde el punto de vista espacial, además del RNT se desarrollan herramientas de seguimiento y modelización mediante teledetección por satélite para caracterizar mejor las trayectorias térmicas y termodinámicas de las masas de agua en su conjunto en el transcurso de varias décadas, tanto pasadas como futuras. La estimación de la temperatura de superficie mediante teledetección se realiza utilizando imágenes infrarrojas Landsat. El método, que consiste en corregir la energía emitida por las superficies acuáticas (tanto continentales como marinas) a partir de los efectos atmosféricos, se valida continuamente a partir de datos sobre el terreno antiguos (científicos o de gestión) o se adquiere a través del RNT. Hoy en día, esta validación se basa en un centenar de lagos. El error medio en la estimación de la temperatura de superficie a partir de imágenes Landsat es de $\pm 1,2^{\circ}\text{C}$. Esta información se elabora de forma rutinaria en todas las superficies de aguas continentales (visibles a través de imágenes Landsat) en Francia metropolitana y en los departamentos y regiones de ultramar. Proporciona la evolución temporal y la distribución espacial de las temperaturas superficiales de las masas de agua, y sirve como información de calibración/validación para los modelos de trayectorias térmicas de las masas de agua francesas.

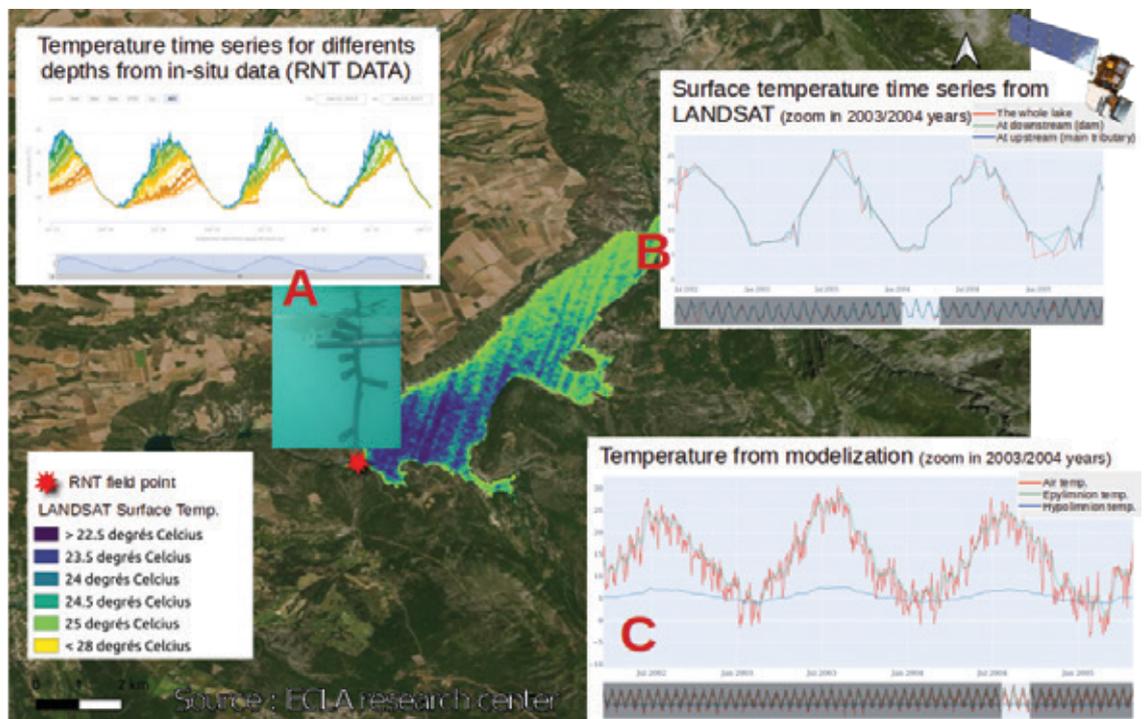


Figura 8 - El lago de Sainte-Croix: (A) serie temporal de temperaturas sobre el terreno del RNT a diferentes profundidades, (B) serie temporal de temperaturas de superficie de imágenes de satélite Landsat, y (C) resultados de modelización de los estratos térmicos del lago (epilimnión por encima de la termoclima e hipolimnión por debajo) (C).



Seguimiento de los humedales mediterráneos:

EJEMPLO DE LA REGIÓN MEDITERRÁNEA

Guelmami Anis (Institut de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéenneswetlands [Tour du Valat])

Los humedales mediterráneos son considerados como los ecosistemas más productivos de la región y albergan una de las biodiversidades más notables del mundo. Pero también son los que más sufren las presiones antropogénicas y se estima que cerca del 48% de sus hábitats naturales se han perdido entre 1970 y 2013 (MWO, 2018).

En 2012, el Mediterranean Wetlands Observatory (MWO) estableció un sistema de seguimiento de estos hábitats, basado en mapas diacrónicos del uso del suelo a partir de datos de Observación de la Tierra (OT), para una muestra de más de 300 emplazamientos (Figura 9). La herramienta cartográfica utilizada fue desarrollada en el marco de los proyectos GlobWetland-II (GW-II, 2010-2014) y *Satellite-based Wetlands Observation Service* (SWOS, 2015-2018). Esto permitió, en un primer momento, crear una base de datos espacializada que abarcaba tres periodos anuales (1975, 1990 y 2005) a partir de las series cronológicas de imágenes Landsat. Esta base está siendo actualizada, con la integración de nuevos mapas desarrollados a partir de imágenes de Sentinel-2, que cubren el periodo anual de 2018.

El enfoque metodológico consta de dos componentes: (1) la teledetección para el tratamiento de imágenes por satélite y la cartografía del uso del suelo (basada en una nomenclatura híbrida que combina CORINE Land Cover y Ramsar) con la clasificación supervisada orientada a objetos por segmentación (Figura 10); y (2) el sistema de información geográfica (SIG) para el cálculo automatizado de los indicadores espacializados (superficie total de los hábitats de los humedales, presiones urbanas y agrícolas, su evolución en el tiempo, etc.).

Las tendencias observadas durante los tres primeros periodos analizados (1975, 1990 y 2005) muestran que, lamentablemente, muchos hábitats naturales de los humedales siguen desapareciendo. Esto se debe principalmente a su conversión en zonas urbanas o agrícolas (+294% y 42%, respectivamente) o al importante desarrollo de presas y otros lugares de almacenamiento de agua en algunos países (más del 64% de los nuevos humedales artificiales creados entre 1975 y 2005 se crearon a expensas de los humedales naturales).

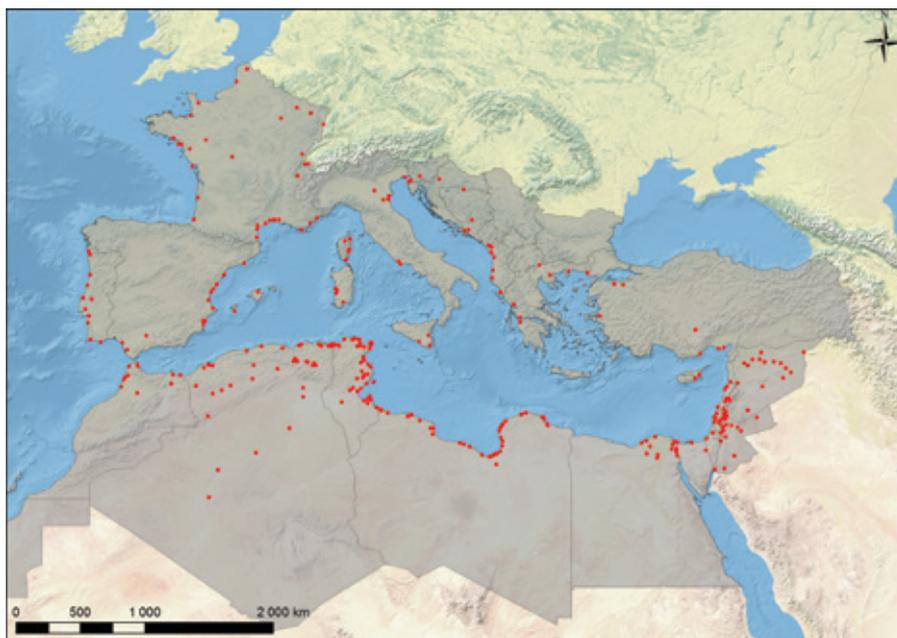


Figura 9 - En rojo, distribución de los emplazamientos cuyo uso del suelo es objeto de seguimiento por parte del OZHM.

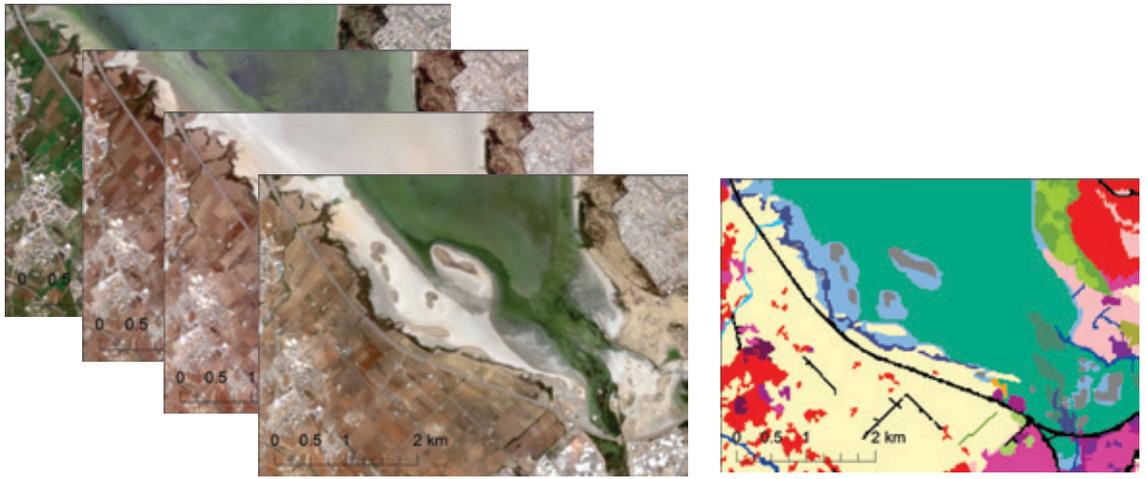


Figura 10 - Cartografía del uso del suelo a partir de las series temporales Sentinel-2 que cubren el año 2018 (de izquierda a derecha: adquisición de imágenes con varias fechas, segmentación y clasificación del uso del suelo orientada a objetos).



Detección y predicción de la deriva de la proliferación de cianobacterias: EJEMPLO DE UNA APLICACIÓN OPERATIVA EN EL MAR BÁLTICO

Virginie Lafon, Olivier Regniers, Nicolas Debonnaire (i-Sea)

Las cianobacterias, en fuerte aumento en todo el mundo, se desarrollan en aguas dulces y marinas en forma de colonias muy abundantes, a menudo visibles desde el espacio. La asociación de toxinas con muchas especies de cianobacterias lleva a menudo al cierre de las aguas de baño cuando florecen, para evitar cualquier riesgo para la salud. El mar Báltico se ve especialmente afectado por una floración intensa y frecuente durante todo el verano. En el marco de un estudio basado en el servicio europeo de vigilancia del medio marino de Copernicus (CMEMS), un consorcio de pequeñas y medianas empresas europeas (PYME) ha creado el servicio *HAB Risk*, que proporciona un inventario diario y predicciones de tres días de la deriva de las floraciones detectadas en el mar Báltico. El método de detección se basa en el análisis de los datos de Sentinel-3. Un algoritmo calibrado sobre el terreno permite calcular la concentración de ficocianina, un pigmento característico de las cianobacterias. Este parámetro se calibra para estimar la abundancia de cianobacterias. Todos los días, en las horas siguientes a la toma de una imagen de Sentinel-3 en el mar Báltico, un servidor de tratamiento de datos recupera la imagen y calcula la concentración de ficocianina allí donde no hay nubes. Al mismo tiempo, se descargan campos actuales simulados del servidor CMEMS para predecir la trayectoria de las floraciones durante los próximos tres días y para generar un indicador del riesgo de que estas floraciones afecten a las zonas de baño. Todos los productos se ponen en línea en el sitio web y en una aplicación de smartphone apenas tres horas después de que la imagen esté disponible. De este modo, los usuarios se benefician a diario, al final del día, de una evaluación del riesgo de floración para el día siguiente en la playa a la que acuden habitualmente o cuya apertura al baño deciden.

PARA MÁS INFORMACIÓN:
 SITIO WEB:
<https://sinice.pl/>
 APLICACIÓN:
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.n7mobile.habrisk&hl=fr>

El prototipo está actualmente configurado y se está probando en la costa polaca. *HAB Risk* también tiene por objeto servir de ayuda para la toma de decisiones en la gestión de las explotaciones acuícolas.

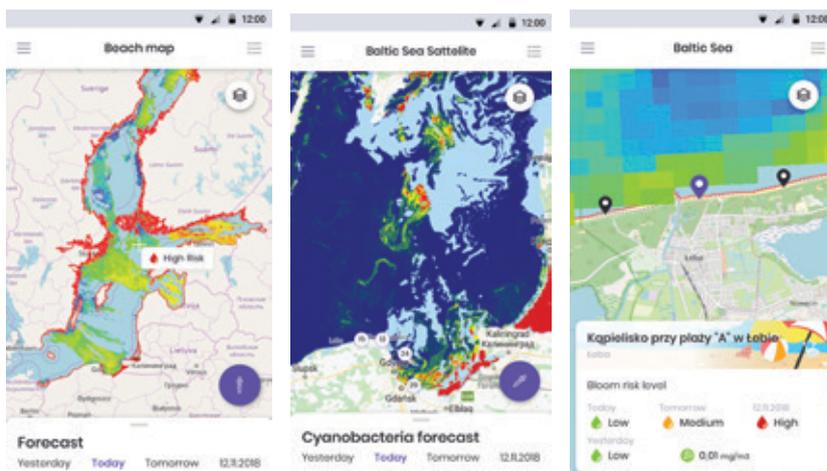


Figura 11 - Ejemplos de la aplicación *HAB Risk* en smartphones con umbrales de alerta en el mar Báltico y las playas polacas.

Usos agrícolas del agua

DEFINICIÓN



¿Qué son los usos agrícolas del agua?

Por “uso agrícola del agua” entendemos las extracciones humanas relacionadas con la agricultura (riego). El consumo de agua meteórica por la agricultura, así como por toda la biosfera, no se tiene en cuenta aquí. Otro problema del agua relacionado con la agricultura es el drenaje y los humedales asociados. Este aspecto está todavía muy poco estudiado mediante la teledetección, y no lo hemos incluido en este documento.

DESAFÍOS



LA AGRICULTURA DE REGADÍO ES EL PRINCIPAL DESTINO DEL AGUA

La agricultura tiene una extensión de aproximadamente 1.500 millones de hectáreas, lo que representa alrededor del 11% de la superficie terrestre mundial. A estas superficies se añaden los prados y pastos permanentes, que representan el 21%. En total, un tercio de la superficie de la tierra está destinado a usos agrícolas. La mayoría de estas zonas se abastece únicamente de agua de lluvia, pero en las zonas donde no es suficiente, los sistemas de riego utilizan los recursos hídricos para proporcionar el agua necesaria para los cultivos. A pesar de este uso significativo del espacio y de los recursos, la necesidad de producción agrícola está aumentando para hacer frente a los desafíos de la seguridad alimentaria (al menos 1.500 millones de personas padecen actualmente hambre en el mundo) y a los desafíos energéticos de la sustitución de los combustibles fósiles. En efecto, la agricultura es el mayor consumidor de agua del planeta (el 70% del agua extraída se destina a usos agrícolas). Esta proporción es aún mayor en los países con recursos hídricos limitados. En la actualidad, el riego se está extendiendo principalmente en los países en vías de desarrollo, donde la proporción de las áreas de regadío fue de 202 millones de hectáreas en 1997-1999 y se espera que alcance los 242 millones en 2030. Si bien la proporción de recursos hídricos renovables consumidos por el riego sigue siendo relativamente pequeña a escala mundial, varía considerablemente de una región a otra (Figura 12) y de una estación a otra. Además, en algunos climas, el periodo de mayor demanda de agua para uso agrícola corresponde al periodo en que el recurso hídrico es el menos importante. Estos fenómenos podrían verse acentuados por el cambio climático, que reduce los recursos disponibles y aumenta las necesidades de la agricultura. Por lo tanto, existe un alto riesgo de que aumente la escasez de agua y se intensifique la competencia entre los diferentes usos de los recursos.

Agua renovable y extracción de agua (km³)



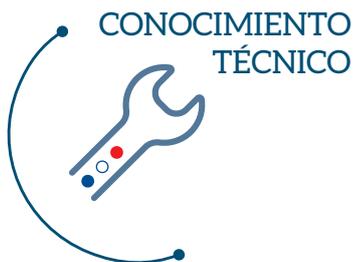
Figura 12 - Porcentaje de extracciones de recursos hídricos renovables en diferentes regiones del mundo (Fuente: datos y proyecciones de la FAO).

Por lo tanto, podemos ver el lugar que ocupa la agricultura en el consumo mundial de agua y su posible aumento en los próximos años. La competencia con otros usos y los desafíos de los riesgos de escasez para la seguridad alimentaria exigen que las autoridades pertinentes estén dotadas de herramientas de seguimiento, control y, en su caso, predicción y optimización del consumo de agua en la agricultura.

Los recientes medios de teledetección proporcionan un complemento esencial a los datos sobre el terreno y a los datos estadísticos que hacen posible:

- identificar los cultivos, su estado de crecimiento, estado vegetativo, etc;
- deducir de esta información las necesidades de agua;
- gestionar mejor las aportaciones en función de las necesidades y la disponibilidad de los recursos.

Estos métodos se aplican a diferentes escalas, que van desde la intraparcela en la agricultura de precisión, a la escala de la parcela para permitir una gestión de la explotación más cercana a las necesidades a pesar de la ausencia de datos precisos sobre el terreno, hasta escalas más grandes, lo que permite que los recursos hídricos se gestionen en función de las necesidades de los cultivos y de su estado a escala de una región o de una cuenca hidrográfica.



Localización y cuantificación de los arrozales inundados: EJEMPLO DEL VALLE DEL RÍO SENEGAL PROYECTO MOSIS

Marie Lefrancq (CACG), Françoise Goulard (Agencia del Agua Adur-Garona)

Organizaciones vinculadas al proyecto: SOGED-OMVS, CACG, E2L, Agencia del Agua Adur-Garona, CNES

El objetivo del enfoque desarrollado es supervisar las zonas arroceras mediante teledetección en la cuenca del río Senegal para establecer un diálogo entre los distintos usuarios del agua con el fin de mejorar la gestión de los volúmenes de agua extraídos y el porcentaje de recaudación de la tasa de riego. Las imágenes ópticas multitemporales de Sentinel-2 proporcionadas y preprocesadas por el grupo Theia se procesaron y valorizaron con el fin de evaluar las superficies arroceras en la cuenca del río Senegal cada cinco días con una resolución espacial de diez metros. Las superficies regadas son detectadas mediante un indicador de presencia de agua (MNDWI) y luego validadas por la presencia de cultivos (NDVI). Dos campañas sobre el terreno evaluaron la coherencia de los resultados durante las dos épocas de cultivo del arroz (contraestación calurosa e invernal). Este proyecto se llevó a cabo en la línea de los enfoques «Living Lab», donde el uso ocupa un lugar central en la reflexión. Por lo tanto, se construyó conjuntamente con el gestor local, SOGED (sociedad de la Organización para el Desarrollo del Río Senegal, OMVS), una plataforma web de cartografía compartida, basada en una metodología innovadora denominada «diseño de servicios», con el fin de centrarse en las necesidades y el contexto de los futuros usuarios. Esta plataforma le permite actuar sobre la base de información e indicadores espaciales. Concretamente, permite visualizar, a lo largo del tiempo, las superficies cultivadas vinculadas a la base de datos de los usuarios, con el fin de estimar los equivalentes teóricos de los volúmenes de agua extraídos para riego, así como la recaudación de la posible tasa. La plataforma ya está operativa. Su uso ya ha demostrado un gran valor añadido en este campo: mejor identificación de los usuarios y de la tierra y aumento de los ingresos en concepto de tasas. Los futuros retos son el despliegue de esta herramienta en otros temas como el control de las especies invasoras o los fenómenos de erosión.

PARA MÁS INFORMACIÓN:
<https://mosis-cacg.e2l-coop.eu/>

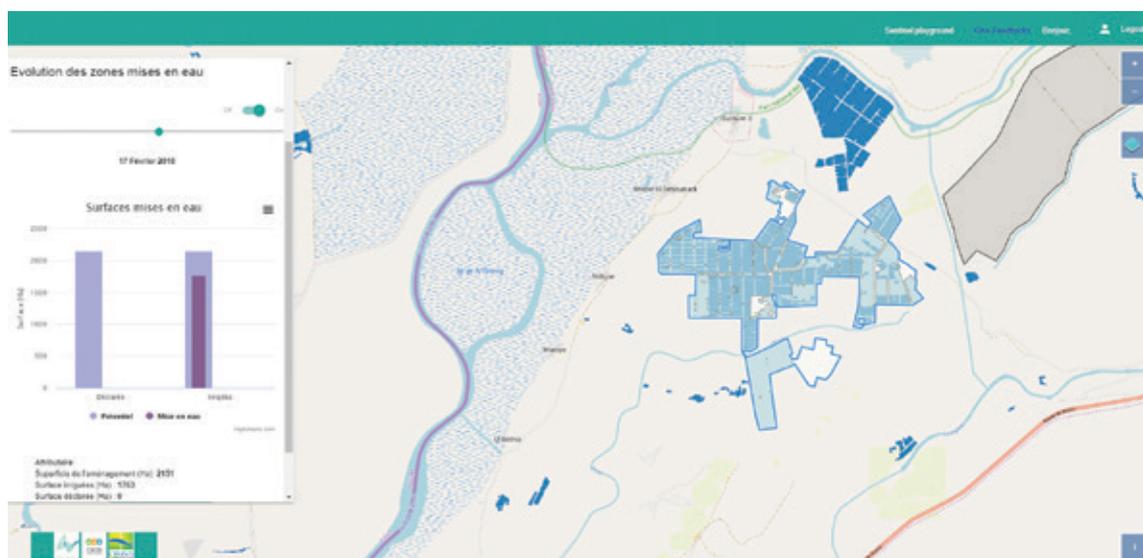


Figura 13 - Ejemplo de la interfaz WEBGIS de la herramienta MOSIS que muestra la evolución de las zonas de agua.



Cartografía de los cultivos de regadío

PROYECTO CES THEIA IRRIGATION

Valérie Demarez (CESBIO)

Organizaciones vinculadas al proyecto: CESBIO, CES Theia

Con el fin de que los responsables de la gestión de las cuencas puedan conocer y anticipar las necesidades de agua de los cultivos para una explotación más precisa de los recursos hídricos, se ha desarrollado un método de tratamiento (clasificación) de las imágenes de Sentinel (Sentinel-1 y -2) con el fin de cartografiar los cultivos de regadío durante el periodo de la campaña y en el final de la misma. La herramienta utilizada es la cadena de procesamiento operativo *iota*², desarrollada en el CESBIO y de libre acceso. Se elaboraron mapas de cultivos de regadío con una resolución de 10 metros en la zona del suroeste de Francia (Figura 14). Los resultados muestran que a finales de julio, la distinción entre las cosechas de verano y las de invierno puede hacerse con una precisión del 85%. A partir de finales de julio, se puede distinguir entre cultivos de regadío y de secano (precisión=75%), lo que permite tomar decisiones por adelantado para la estimación de la producción o la gestión del agua a nivel departamental.

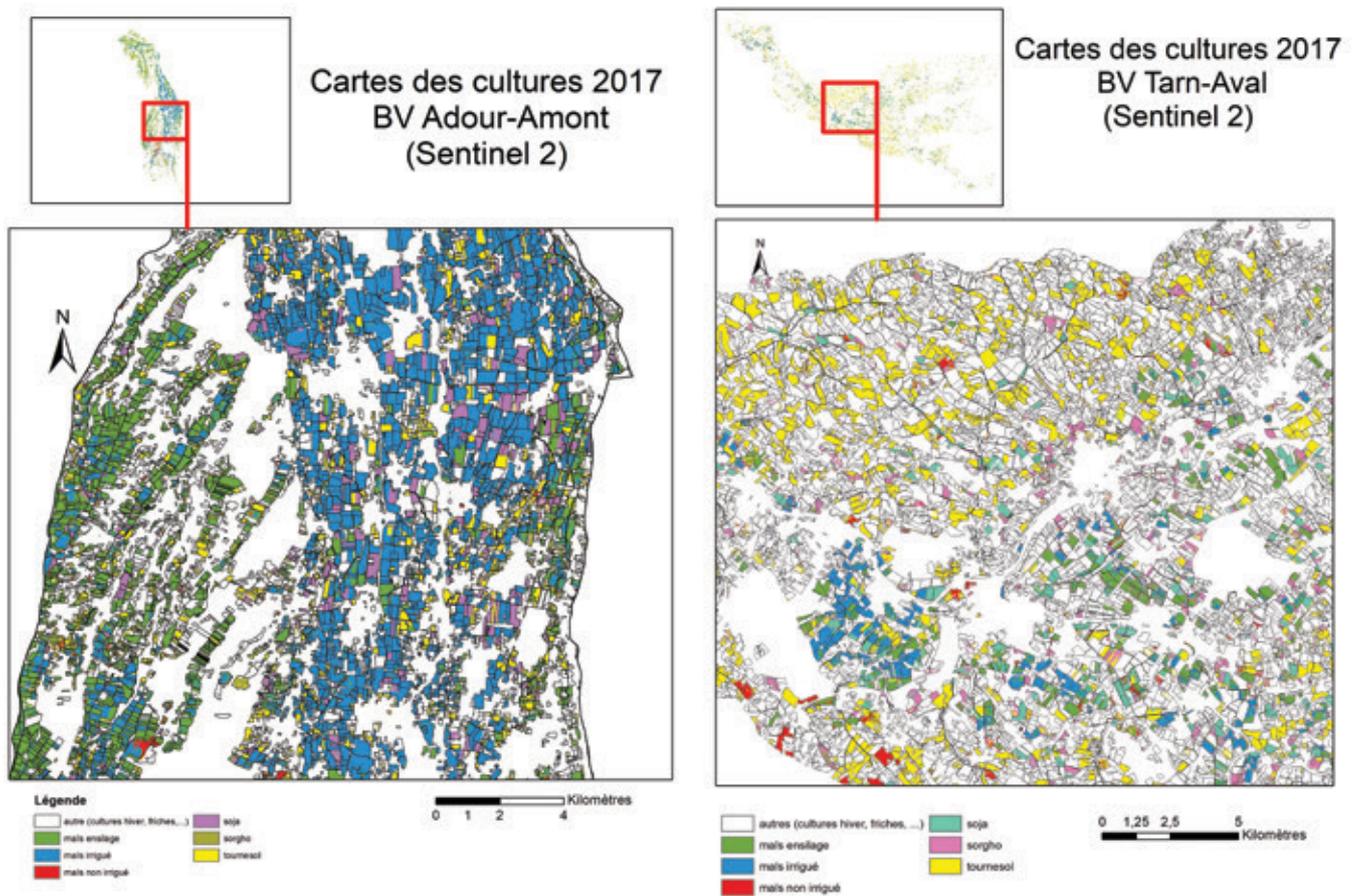


Figura 14 - Mapa de los cultivos de regadío en las cuencas del Adour-Aguas arriba (izquierda) y el Tarn-Aguas abajo (derecha) a partir de 20 imágenes de Sentinel-2 obtenidas entre marzo y octubre de 2017 (proyecto SIMULTEAU,



Cálculo del balance hídrico a escala de la parcela agrícola para evaluar el estrés hídrico y brindar asesoramiento en materia de riego

PROYECTO SAT-IRR («SATELLITE FOR IRRIGATION SCHEDULING»)

Guillaume Rieu (TerraNIS)

Organizaciones vinculadas al proyecto: TerraNIS, CESBIO

El objetivo del enfoque que se presenta a continuación es proporcionar asesoramiento a los agricultores sobre la base de las verdaderas necesidades de sus cultivos. Para calcular el balance hídrico a escala de la parcela agrícola, la herramienta desarrollada se basa en una plataforma web y permite al usuario: (i) introducir los datos de entrada: contorno de la parcela, tipo de cultivo, fecha de plantación y tipo de suelo, (ii) visualizar mapas del desarrollo de la vegetación a lo largo de la campaña de cultivo e indicadores de estrés hídrico (por ejemplo, contenido de agua en el compartimento radicular). La aplicación utiliza imágenes ópticas multitemporales de Sentinel (L2A) con una frecuencia de cinco días y una resolución de diez metros, y aplica el método CAM de balance de agua. De este modo, permite (i) estimar las pérdidas de agua por evapotranspiración a partir de datos espaciales (estimación de biomasa y fracción de suelo desnudo) y meteorológicos (evapotranspiración de referencia), (ii) integrar las entradas de agua en el «sistema de parcela»: lluvia e irrigación, (iii) modelar el compartimento «suelo» del «sistema de parcela» mediante la estimación de su reserva útil. La aplicación ya está operativa y en proceso de industrialización.



Figura 15 - Captura de pantalla de la plataforma de Internet SAT-IRR que muestra la evolución temporal del índice de vegetación de una parcela.



Estimación y cartografía de la humedad del suelo a escala subparcelaria

Nicolas Baghdadi (IRSTEA, UMR TETIS Maison de la télédétection)

Organizaciones vinculadas al proyecto: Maison de la télédétection, CES Theia

Para que los agricultores puedan adaptar su ritmo y frecuencia de riego a las condiciones de humedad del suelo, se utilizan datos de radar para estimar y mapear la humedad superficial de los suelos desnudos (primeros 5-10 centímetros). La estimación de la humedad de un suelo cubierto requiere el acoplamiento de datos ópticos con datos de radar para tener en cuenta las características de la vegetación. Los datos utilizados proceden de las series de imágenes del radar Copernicus (Sentinel-1) y ópticas (Sentinel-2). El algoritmo de inversión de la señal de radar utiliza redes neuronales. Se aplica a las parcelas agrícolas extraídas de los mapas de uso del suelo elaborados por el CES Ocupación de los suelos de Theia. El producto final se ofrece en una escala intra-parcelaria (a partir de 0,2 hectáreas). Gracias a una gran campaña de terreno cerca de la ciudad de Montpellier (cerca de 500 mediciones sobre el terreno), la estimación de la humedad del suelo en estos mapas alcanza una precisión de alrededor de 6 vol.%. Se han sometido a prueba otros emplazamientos, en particular en el extranjero (Líbano, Marruecos, Italia, etc.).

PARA MÁS INFORMACIÓN:
<https://www.theia-land.fr/en/data-and-services-for-the-land/>

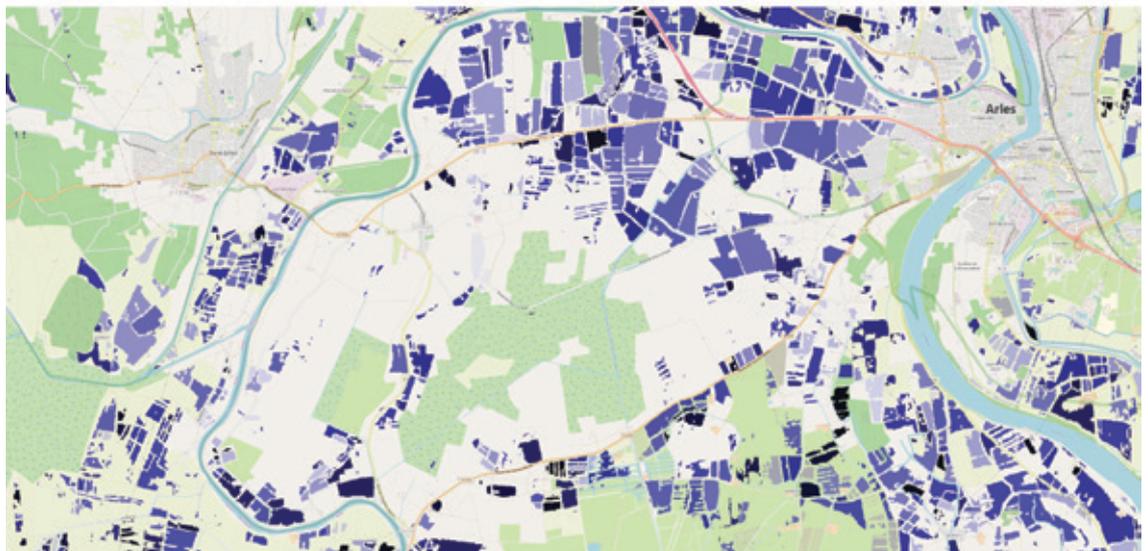


Figura 16 - Mapa de humedad del suelo (volumen en %) para parcelas (más oscuras cuando hay más humedad) en la región de Arles, 19 de septiembre de 2018.



Identificación de los parámetros biofísicos de los cultivos para una agricultura de precisión

PROYECTO VERDE

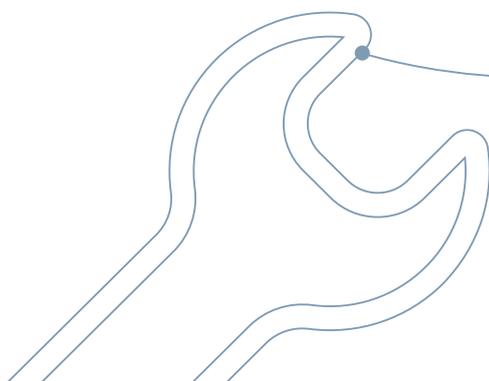
Charlotte Gabriel-Robez (AIRBUS Defense and Space)

PARA MÁS INFORMACIÓN:
<https://www.intelligence-airbusds.com/monitoring-services-for-agriculture/#verde>

El objetivo del proyecto *Verde* es permitir a los agricultores conocer con mayor precisión el estado de sus cultivos y adaptar los tratamientos o el riego en función de las necesidades a escala intraparcelsaria. *Verde* proporciona automáticamente mapas de vegetación, ajustados a la parcela, utilizando una amplia gama de imágenes satelitales y de vehículos aéreos motorizados (UAV). La interfaz de programación de aplicaciones (API) permite un análisis llave en mano basado en la extracción de información biofísica que caracteriza el estado de los cultivos (cubierta marrón, cubierta verde, índice foliar, contenido de clorofila, etc.). La API se puede utilizar desde cualquier portal de agricultura de precisión. El servicio Airbus *Verde* utiliza el procesador Overland, una suite de procesamiento óptico de imágenes desarrollada por Airbus para generar mapas de vegetación como el índice de área foliar o el contenido de clorofila. Los primeros algoritmos se desarrollaron a principios de la década de 2000 y han sido mejorados constantemente desde entonces. Overland es capaz de procesar una amplia gama de imágenes multiespectrales, cubriendo rangos espectrales de 0,4 a 2,5 micras, de varias fuentes (satélite, aerotransportado, UAV) y resoluciones espaciales. Las necesidades de agua de cada cultivo se especifican entonces extrayendo los coeficientes de cultivo de la fracción de la cubierta verde que se deriva de las imágenes de satélite y que, por lo tanto, ofrece un mejor ajuste al ciclo de cultivo que el método FA056. La API está en funcionamiento y, por lo tanto, proporciona series cronológicas de parámetros biofísicos derivados de imágenes satelitales para comprender mejor el estado de los cultivos durante la temporada de crecimiento y, en particular, sus necesidades de agua.



Figura 17 - Aplicación para smartphone y tableta.





Un modelo de cultura especializada

PROYECTO SARRA-0

Christian Baron (CIRAD, UMR TETIS Maison de la télédétection)

El objetivo es proporcionar a los responsables de la toma de decisiones y a los agricultores servicios climáticos durante la temporada de cosecha: alerta temprana sobre las condiciones de las cosechas, previsiones de rendimiento, en particular para optimizar las estrategias de plantación y/o riego. También permite analizar el impacto de la variabilidad y el cambio climático en los cultivos y las prácticas agrícolas.

SARRA-0 es la versión espacial y multiescala del modelo de cultivo SARRA-H, que tiene como objetivo supervisar las condiciones de los cultivos, pronosticar el rendimiento y proporcionar servicios climáticos: de la escala territorial a la regional. Puede utilizar diferentes fuentes de datos meteorológicos y de precipitación estimados a partir de imágenes satelitales. Sus mapas de producción permiten detectar y calificar en tiempo semi-real áreas con fuertes anomalías, estimar reservas de agua, probar diferentes estrategias de siembra y/o riego, etc. Inicialmente desarrollado para los principales cereales de los países tropicales, ha sido parametrizado y verificado para diferentes cultivares de mijo, sorgo y maíz. También se ha calibrado para el arroz, el trigo, la soja y, por último, el algodón. Se utiliza en: (i) una amplia gama de temas que van desde la parcela hasta la región: seguimiento de los cultivos, estimación y previsión del rendimiento, sistema de alerta temprana, efectos y adaptación al cambio climático, etc., y ii) una amplia gama de entornos y aplicaciones: principalmente en los países tropicales de África (sistema de alerta temprana), Brasil (zonificación agroclimológica y seguridad de los préstamos), pero también en los países más templados a los más fríos: en Francia, Alemania, Estados Unidos. Permite tener en cuenta las estrategias de los agricultores: i) elección de cultivares (fotoperiódicos o no), ii) densidad de siembra, iii) fecha de siembra o estrategias de siembra, iv) cantidad de riego o estrategias de riego y v) nivel de intensificación (técnica y fertilización) que va de muy bajo a óptimo.

SARRA-0, con más de 60 publicaciones, ha sido utilizado desde 2016 por AGRHYMET, Níger, en su sistema de alerta temprana que abarca 17 países de África occidental. Se llevaron a cabo cursos de formación para ocho países de África occidental.

PARA MÁS INFORMACIÓN:
https://sarra-h.teledection.fr/SARRAH_Home_En.html

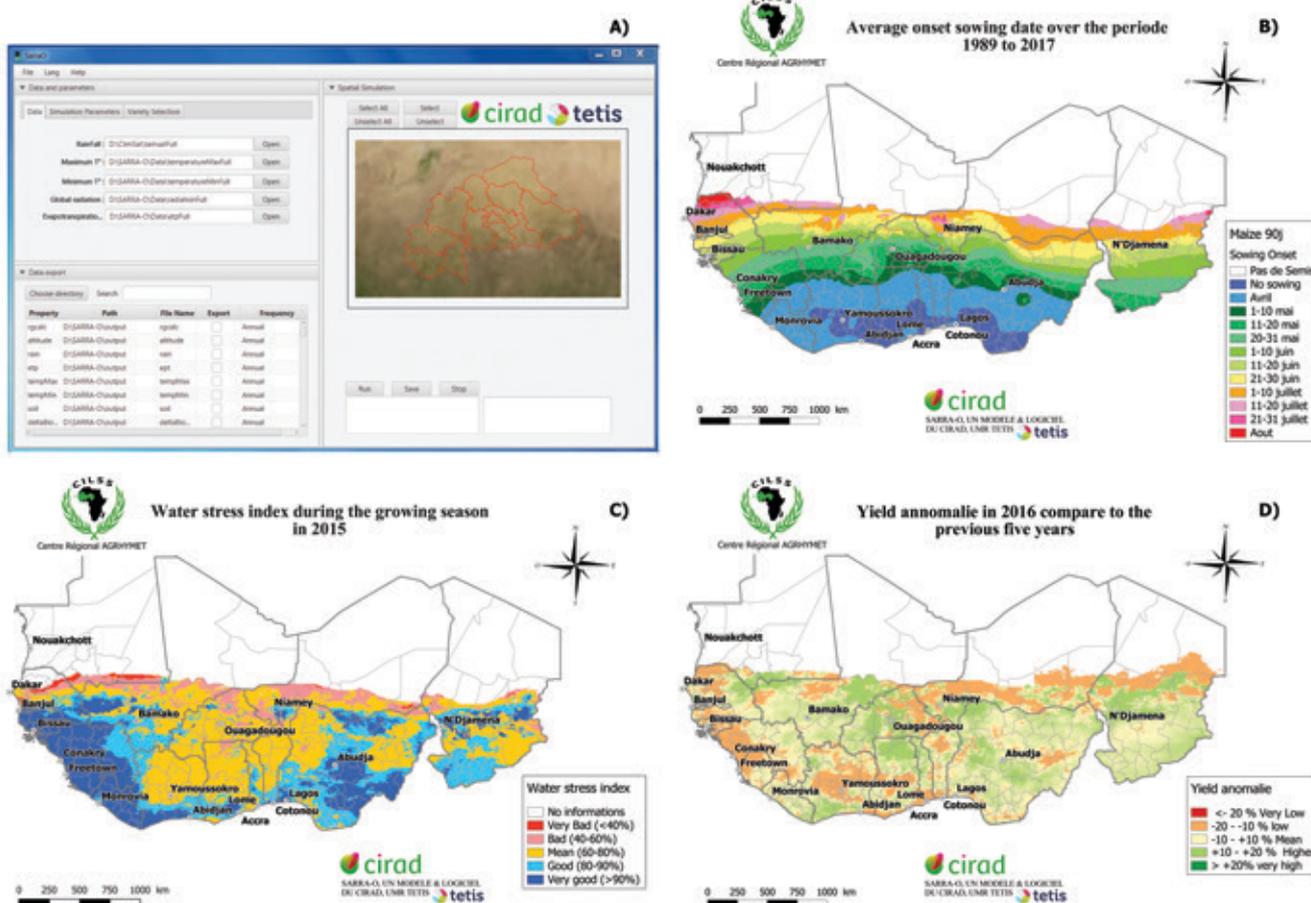


Figura 18 - Software SARRA-O y diferentes tipos de salidas: A) Interfaz de usuario, B) Estimación de las fechas promedio de siembra, C) Índice de estrés hídrico del cultivo durante la temporada, D) Anomalía de rendimiento en la cosecha en comparación con los cinco años anteriores.



Glosario

AFB: Agence Française pour la biodiversité (Agencia Francesa para la Biodiversidad)

AFD: Agence Française de Développement (Agencia Francesa de Desarrollo)

BRLI: BRL Ingénierie (BRL Ingeniería)

CES: Centres d'Expertise Scientifique (Centro de competencias científicas)

CESBIO: Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère (Centro de Estudios Espaciales de la Biosfera)

CICOS: Commission Internationale du Bassin Congo-Oubangui-Sangha (Comisión Internacional de la Cuenca Congo-Oubangui-Sangha)

Cirad: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Centro de cooperación internacional en investigación agronómica para el desarrollo)

CNES: Centre National d'Etudes Spatiales (Centro Nacional de Estudios Espaciales)

CNR: Compagnie Nationale du Rhône (Compañía Nacional del Ródano)

CLS: Collecte Localisation Satellites

CNRM: Centre National de Recherches (Centro Nacional de Investigación Meteorológica)

COP: Conferencia de las Partes

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

IPBES: Plataforma intergubernamental científico-normativa sobre diversidad biológica y servicios de los ecosistemas

IRD: Institut de Recherche pour le Développement (Instituto de Investigación para el Desarrollo)

IRSTEA: Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (Instituto Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Medio Ambiente y la Agricultura)

ISBA: interaction Sol-Biosphère-Atmosphère (Interacción Suelo-Biosfera-Atmósfera)

LEGOS: Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie (Laboratorio de Estudios en Geofísica y Oceanografía Espaciales)

MDE: Modelo digital de elevación

MDT: Modelo digital de terreno

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OIEau: Office International de l'Eau (Oficina Internacional del Agua)

OMVS: Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (Organización para el Desarrollo del Río Senegal)

SIG: Sistema de información geográfica

SIH: Sistema de información hidrológica

SWOT: Surface Water and Ocean Topography (Topografía de los océanos y de las aguas superficiales)

Si bien el agua es esencial para el desarrollo de nuestras sociedades, en la actualidad está sometida a una presión antropogénica cada vez mayor debido a un gran número de factores como el crecimiento demográfico, la rápida urbanización, la industrialización, la contaminación y los cambios en los estilos de vida.

En este contexto, deben aplicarse medidas concretas para avanzar hacia una gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos y de los medios acuáticos. Sin embargo, un buen conocimiento y la comprensión de los recursos hídricos son cruciales para una acción eficaz. La obtención de datos hidrológicos es, por lo tanto, una actividad esencial en la toma de decisiones.

Después de un primer número de la colección «Expertise del PFE» sobre temas relacionados con el conocimiento, la experiencia desarrollada para responder a estos desafíos en Francia y a nivel internacional, este nuevo número se centra en la adquisición de datos hidrológicos espaciales y presenta varias iniciativas de los actores franceses en el sector del agua, destacando la complementariedad de los datos satelitales en la mejora de nuestro conocimiento de la información hidrológica de terreno.

El Partenariat Français pour l'Eau es la plataforma de referencia para los actores franceses del agua, públicos y privados, activos a nivel internacional. Desde hace más de 10 años defiende a nivel internacional que el agua debe ser una prioridad en las políticas de desarrollo sostenible y promueve los intercambios entre el conocimiento técnico francés y el de otros países. Lleva mensajes colectivos a favor del agua con sus diferentes miembros (Estado e instituciones públicas, autoridades locales, ONG, empresas, institutos de investigación y formación, así como expertos cualificados) en foros internacionales como las Naciones Unidas, las Convenciones sobre el clima y la biodiversidad, los Foros políticos de alto nivel y la Semana Mundial del Agua de Estocolmo. Para más información: www.partenariat-francais-eau.fr y <https://www.partenariat-francais-eau.fr/en/>



En colaboración con:



Elaborado con el apoyo de :



51 rue Salvador Allende
92027 Nanterre / France

+33 (0) 1 41 20 19 49
+33 (0) 1 41 20 16 09

www.french-water-partnership.fr
www.partenariat-francais-eau.fr