



Buenas prácticas en la identificación de ríos temporales



Co-funded by
the European Union

2022 Consorcio RIVERTEMP

Autores colaboradores

Giammarco Manfreda, Isabelle Brichetto, Carmela Cavallo, Christina Dolianidi, Simone Forte, Almudena González Costas, Alessandro Guglielmetto, Anastasios Karakostas, Maria Lilli, Giovanni Negro, Nikolaos Nikolaidis, Guillermo Palau Salvador, Maria Nicolina Papa, Beatrice Pinna, Katerina Valta, Paolo Vezza

DOI: 10.5281/zenodo.8134015



Agradecimiento

Esta publicación ha recibido financiación de la Comisión Europea en virtud del acuerdo de subvención número 2022-1-IT02-KA220-HED-000086223, proyecto de asociación de cooperación Erasmus+ *RIVERTEMP: Educación en categorización e identificación de ríos temporales para luchar contra el cambio climático.*

Descargo de responsabilidad

El apoyo de la Comisión Europea a la elaboración de esta publicación no constituye una aprobación de su contenido, que refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.

Aviso de derechos de autor



Esta obra está bajo la licencia Creative Commons **Reconocimiento-No comercial 4.0 Internacional**. Usted es libre de copiar, compartir, adaptar y utilizar el material con fines no comerciales, si cumple las siguientes condiciones:

- **Atribución:** Debe dar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que Right to Remain le respalda a usted o a su uso.
- **No comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales.

Contenido

1. Introducción	4
1.1 Definiciones de ríos no perennes	4
1.2 Clasificación de los regímenes y condiciones hidrológicos	7
1.3 Definiciones de intermitencia natural y artificial	9
1.4 Prevalencia mundial de los ríos temporales	9
1.5 La falta de percepción social y de reconocimiento jurídico	10
1.6 Cómo evaluar la intermitencia del caudal	12
2. Buenas prácticas en la identificación de ríos temporales	14
2.1 El proyecto MIRAGE	14
2.2 El proyecto DRYVER	24
2.3 Teledetección	30
Referencias	39

1. Introducción

1.1 Definiciones de ríos no perennes

Los ríos no perennes (RNP) se definen como cursos de agua que pueden secarse durante algún periodo del año (Parlamento Europeo - Directiva Marco del Agua 2000/60/CE, 2000). Es importante aclarar que los NPR son todos los ríos en los que algunos datos demuestran la ausencia de agua a lo largo del cauce.

(Figura 1).



Figura 1. Ejemplo de las variaciones potenciales observadas en la misma porción de un río temporal dentro del mismo año: A) encharcado (16-12-2022). B) seco (16-04-2023). Fotos de I. Brichetto, río Palancia, Comunidad Valenciana (España).

La definición incluye una amplia gama de diferentes intermitencias: desde el río con presencia episódica de agua hasta los ríos cuasiperennes (Magand et al., 2020). Estos ríos suelen estar situados en regiones de clima semiárido o árido, donde la estación seca es más larga cada año que en otras regiones (Shanafield et al., 2021). Sin embargo, este fenómeno se da en cualquier parte del mundo, y se ha demostrado que los NPR son ubicuos (Allen et al., 2020; Messenger et al., 2021).

Aparte de su ubicuidad, los NPR tuvieron y siguen teniendo dificultades para ser reconocidos y clasificados en la legislación nacional como un grupo de ríos con características y necesidades

específicas (Fritz et al., 2017). En Europa, la Directiva Marco del Agua (DMA) se adoptó en 2000 para establecer un nuevo marco de protección y gestión sostenible de los recursos hídricos. Su objetivo es clasificar la calidad ecológica de las masas de agua superficiales y alcanzar un "buen estado ecológico" para todas las aguas continentales y costeras de la UE, definiendo para todas las masas de agua superficiales un estado de referencia que represente el estado inalterado (Magand et al., 2020). Sólo algunos países de la región mediterránea integran la DMA con implementaciones nacionales que introducen el concepto y algunas clasificaciones para los ríos en los que pueden producirse fenómenos de desecación. En 2008, España e Italia, respectivamente con ORDEN ARM/2656/2008" (Figura 2) y "Decreto Ministeriale 16 giugno 2008, n. 131" (D.M. 131/2008, Figura 3), definieron una posible clasificación de las diferentes temporalidades.

Perennial	Water courses have natural flow regime conditions flow during the whole year.
Temporary or seasonal	Water courses where natural flow regime conditions present a marked seasonality, showing reduced flow or dry riverbed in summer, and flow is present during an average period of 300 days in a year.
Intermittent or strongly seasonal	Water courses where natural flow regime conditions present a high temporality, and flow is present during an average period between 100 and 300 days in a year.
Ephemeral	Water courses that in natural flow regime conditions only flow sporadically, mainly in storm episodes, during an average period less than 100 days in a year.

Figura 2. Clasificación de los diferentes tipos de temporalidad de los ríos en la DMA (ORDEN ARM/2656/2008) (para la aplicación de la DMA 2000/60/CE). Los datos de días sin caudal para un régimen no perturbado se obtienen con la ayuda de un modelo lluvia-escorrentía.

Stream type	Description
Temporary	Watercourse that can dry out completely and/or at some stretches
• Intermittent	Water is present more than 8 months a year. It may dry out in some river stretches and/or several times a year
• Ephemeral	Water is present <8 months a year. Disconnected pools may remain
• Episodic	Water only present after heavy rains, once every 5 years

Figura 3. La tabla de la figura muestra la clasificación de ríos temporales definida en el D.M. italiano 131/2008 (para la aplicación de la DMA 2000/60/CE).

Para mantener la coherencia con las definiciones normativas y facilitar la comparabilidad de los métodos de evaluación y las clases de estado ecológico entre los Estados miembros, se llevó a cabo un ejercicio de intercalibración en dos fases para garantizar la alineación de los límites de las clases. El Ejercicio de Intercalibración fue ejecutado por cinco Grupos Geográficos de Intercalibración (GIG), uno por cada una de las cinco regiones que comparten tipos de masas de agua similares en toda Europa (Fritz et al., 2017). El GIG mediterráneo, formado por Bulgaria, Chipre, Francia, Grecia, Italia, Portugal, Eslovenia y España, introdujo una clasificación, denominada RM5 para ríos no perennes conocidos como *arroyos temporales*, en la que se incluyeron todos los tipos de NPR posibles (Fritz et al., 2017; Magand et al. 2020). Estos tres ejemplos ponen de manifiesto la falta de coherencia en la formulación de marcos terminológicos claros y concisos, a pesar de que en todos los casos se utiliza el término "temporal". Concretamente, en el caso de la D.M. 131/2008 y de la GIG mediterránea, el término "temporal" se utiliza como una categoría amplia que engloba todos los ríos que no están clasificados como perennes. A lo largo de los años, sin una clasificación oficial y universal, la literatura científica ha diferenciado epítetos para referirse a una amplia gama de intermitencias fluviales. Los posibles términos que indican las NPR pueden ser "árido", "discontinuo", "seco", "efímero", "episódico", "intermitente", "interrumpido", "irregular", "no perenne", "no permanente", "estacional" y "temporal" (Busch et al. 2020).

Debido a la falta de homogeneidad en la terminología, era esencial definir definiciones universales y comúnmente aceptadas para estos ríos y sus diferentes tipos de intermitencias. Busch et al. (2020) propusieron una revisión de los epítetos más utilizados para distintos tipos de ríos no perennes con el fin de definir definiciones universales y generales:

- *No perenne*: cualquier sistema lótico de agua dulce que deja de fluir periódicamente y/o está seco en algún momento del tiempo y/o del espacio.
- *Intermitente*: río o arroyo no perenne con una conexión considerable con la capa freática, que tiene ciclos variables de humedecimiento y cese del caudal, y con un caudal que se mantiene durante más tiempo que una sola tormenta. Estos cursos de agua ganan hidrológicamente la mayor parte del tiempo si se consideran los patrones de flujo a largo plazo.
- *Efímero*: tipo de río o arroyo no perenne sin una conexión considerable con las aguas subterráneas que fluye durante un corto periodo de tiempo, normalmente sólo después

de las precipitaciones. Estos cursos de agua pierden hidrológicamente la mayor parte del tiempo si se consideran los patrones de flujo a largo plazo.

Este esfuerzo pretende aclarar la bibliografía señalando los distintos tipos de ríos que pueden encontrarse. No obstante, hay que señalar que se siguen utilizando comúnmente términos alternativos en lugar de *no perenne*; esto se refleja, por ejemplo, en las definiciones utilizadas en algunos proyectos europeos importantes sobre este tema.

Por un lado, el MIRAGE (Mediterranean Intermittent River manAGEMENT) fue un proyecto financiado por la UE de 2009 a 2011 para desarrollar y codificar métodos y herramientas para evaluar la calidad ecológica exigida por la DMA también para los *ríos temporales* (véase la sección 2.1). El *entregable 8.1* indicaba la dicotomía *temporal/permanente* como la terminología empleada para distinguir entre ríos que pueden o no experimentar una desecación periódica.

Por otro lado, el DRYVER (Securing biodiversity, functional integrity and ecosystem services in DRYing riVER networks) es un proyecto europeo en curso, iniciado en 2020, en el que un equipo de expertos multidisciplinares de 11 países de Europa, Sudamérica, China y EE.UU. profundiza en los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad, las funciones de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos de los *ríos temporales* (véase la sección 2.2). No obstante, la terminología utilizada en *el Deliverable 1.1*, en el sitio web y en las aplicaciones se refiere a las *redes fluviales de desecación (DRN, por sus siglas en inglés)*.

En este Deliverable 3.1, perteneciente al proyecto RIVERTEMP, se utiliza el término *ríos temporales (RT)* para referirse a los *ríos no perennes (RNP)*. Esta elección se debe al uso generalizado del término en la legislación nacional en toda Europa y en la región mediterránea.

1.2 Clasificación de los regímenes y condiciones hidrológicos

Para comprender y evaluar el posible paso de un TR de un régimen hidrológico a otro, es fundamental definir y clasificar los posibles regímenes hidrológicos que describen la amplia gama de temporalidad que pueden presentar los TR. A lo largo del año se utilizaron varias perspectivas y métodos para distinguir y clasificar operativamente los distintos regímenes.

Uno de los primeros enfoques se ha basado en el recuento del número de días sin caudal al año con la ayuda de un modelo lluvia-escorrentía, un ejemplo es la clasificación española prevista en la aplicación de la DMA (Figura 2). Se trata de un modelo sencillo y fácil pero menos capaz de describir la variabilidad hidrológica que puede presentar el tramo temporal de un río y, por tanto, menos útil para determinar el estado ecológico (Magand et al., 2020).

Desde el punto de vista biológico, se identificaron diferentes conceptos hidrológicos y ecológicos para clasificar los posibles regímenes y condiciones hidrológicas en los TR (Boulton, 2003; Fritz et al. 2006). Gallart et al. (2017) propusieron una clasificación simplificada (Figura 4) basada en tres *fases acuáticas diferentes* (*flujo, charcos y seco*) que eran las mismas métricas operativas utilizadas en el proyecto francés Onde (<https://onde.eaufrance.fr/>), denominadas *niveles de flujo bajo* (Magand et al., 2020). La condición de *flujo* (o *caudal*) se caracteriza por la presencia de un flujo superficial continuo en el cauce del río. La condición de *charcas* (o estanques) reagrupa la posible condición en la que hay agua superficial en el cauce del río pero sólo en charcas o estanques desconectados. Un río *seco* implica la ausencia de agua superficial aunque sea posible una vida hiporreica.



Figura 4. Visión general de las tres condiciones hidrológicas diferentes que pueden darse en los TR: a) caudaloso, b) encharcado y c) seco. Fotos de C. Cavallo, río Sciarapotamo, Salerno (IT).

Aunque la métrica *caudal-piscinas-secas*, o *caudal-estanques-secos*, surgió como la más consistente para la descripción de la posible condición en los TRs, la terminología para referirse a estas condiciones sigue careciendo de homogeneidad. El epíteto *condiciones hidrológicas* (o *hidrológicas*) parece ser la definición más difundida para aludir genéricamente a la clasificación caudal-piscinas-secas. Se utiliza tanto en la literatura (Magand et al., 2020) como en los informes oficiales europeos y en los proyectos sobre TRs. Por ejemplo, DRYvER utiliza esta terminología en la aplicación de crowdsourcing (Tutorial para la aplicación web DRYRivERS) (ver Sección 2.2). Por lo tanto, en el contexto de este Entregable del proyecto RIVERTEMP, nos referimos a las *condiciones hidrológicas* para indicar el estado fluyente-estancado-seco del cauce.

En base a estas condiciones hidrológicas, la literatura científica ha propuesto diferentes enfoques para definir valores umbrales de permanencia de caudales y charcas o considerando la estacionalidad de estas ocurrencias para clasificar los posibles regímenes hidrológicos para TRs (Gallart et al., 2017; De Girolamo et al., 2015). Sin embargo, debido a la subjetividad inherente a la determinación de estos valores límite, sigue siendo difícil encontrar un método de aplicación universal que pueda emplearse en la mayor parte de la red hidrológica.

1.3 Definiciones de intermitencia natural y artificial

Para salvaguardar los TRs, es importante tener conciencia de las causas que determinan la intermitencia, no sólo del tipo de su intermitencia. A pesar de que la atención sobre los TRs está surgiendo en múltiples campos de investigación, el foco principal de la investigación sigue siendo principalmente los ríos perennes. En los TRs, la alternancia entre condiciones de flujo y no flujo es una característica del régimen hidrológico natural, también conocida como intermitencia natural del flujo (NFI). Sin embargo, una alteración del régimen hidrológico inducida por el hombre también puede causar una intermitencia de flujo antropogénica (AFI) (Datry et al., 2023).

No siempre es fácil evaluar la diferencia entre los factores naturales y antrópicos que determinan la intermitencia de un río, especialmente cuando el resultado es una disminución de la descarga de caudal (Skoulikidis et al., 2017). Por el contrario, cuando los TR se vuelven perennes debido a un aumento antinatural de la descarga de caudal, es más fácil establecer una relación causa-efecto atribuida a impulsores antropogénicos, como presas, estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) o vertidos urbanos, civiles e industriales (Hassan & Egozi, 2001). En ese caso, el aumento del caudal base (antisequía) puede dar lugar a notables implicaciones ecológicas, como el cambio en la composición de las comunidades bióticas autóctonas (Poff & Zimmerman, 2010).

1.4 Prevalencia mundial de ríos temporales

Messenger et al. (2021) cuantificaron que a lo largo de la red fluvial mundial con un

MAF (caudal medio anual) $> 0,01 \text{ m}^3 / \text{s}$, la duración en la que el agua deja de fluir al menos un día al año oscila entre el 51% (enfoque conservador) y el 60%. Además, el fenómeno del paso de un régimen de caudal permanente a otro temporal se acentuaría en escenarios futuros debido a presiones antropogénicas, como el cambio climático, los cambios en el uso del suelo y el aumento de las extracciones de agua (Döll y Schmied, 2012; Pumo et al., 2016). En los últimos 50 años, muchos de los ríos más grandes y famosos, como el Nilo, el Amarillo, el Indo y el Colorado, que solían correr continuamente, han empezado a tener tramos en los que el agua deja de fluir (Datry et al., 2014). Todas estas pruebas demuestran cómo hoy en día los TR son la norma y no la excepción.

1.5 La falta de percepción social y reconocimiento

jurídico

A pesar de la floreciente literatura sobre el tema en los últimos años, existe una falta de conciencia por parte de la población sobre la importancia de los TRs para la red fluvial (Cottet et al., 2023; Llanos-Paez & Acuña, 2022), su papel en la regulación de las aguas subterráneas, su contribución a la biodiversidad local y regional y la integridad biogeoquímica (Magand et al., 2020). Esto determina una subordinación en la atención prestada a la protección de estos sistemas en comparación con los ríos perennes en las legislaciones y políticas nacionales, lo que indica un retraso general en su reconocimiento (Magand et al., 2020; Messenger et al., 2021).

Llanos-Páez & Acuña (2022) mostraron cómo la percepción social de la importancia de un río está estrechamente relacionada con la permanencia del caudal, destacando que aún existen dificultades socioculturales para considerar un cauce seco como un río de pleno derecho. Además, los pescadores son partes interesadas importantes que abordan la política de restauración y preservación de los ríos más hacia los tramos perennes, donde las especies de la biota suelen estar más presentes (Cottet et al., 2023). Además, especialmente en las regiones áridas y semiáridas, hay una presencia generalizada de arroyos efímeros que suelen estar secos pero que pueden tener periódicamente crecidas trágicas. Así pues, en esta región, la gente tiende a relacionar inmediatamente las TR con los peligros de inundación más que con un recurso hídrico que debe protegerse. De hecho, en la región EU-Med, se siguen utilizando como aparcamientos o vertederos (Figura 5) (Skoulidakis et al., 2017).



Figura 5. Ejemplo de vertederos en canal fluvial temporal. Foto de I. Brichetto, río Carraixet, Comunidad Valenciana (2023).

Todos estos sesgos culturales sobre los TR determinan una legislación que aún se retrasa en la actualización de la gestión y protección de los TR (Acuña et al., 2014; Messenger et al., 2021). Estos ríos pueden estar sometidos a la misma normativa que los ríos perennes (por ejemplo, la Directiva Marco del Agua en la UE, la Ley del Agua en EE.UU.) o, en algunos casos, pueden quedar excluidos de la legislación (Cottet et al., 2023). Por ejemplo, aunque las implementaciones española e italiana de la DMA definen los TR (véanse las figuras 2 y 3), una parte esencial de la red fluvial intermitente queda excluida por los programas de evaluación ecológica, ya que la definición incluye únicamente los arroyos con una cuenca hidrográfica > 10 km² (Italia), una cuenca hidrográfica > 10 km² y un caudal medio anual superior a 0,1 m³/s (España) (Fritz et al., 2017). Además, en Estados Unidos (Marshall et al., 2018) y Francia (por ejemplo, el decreto Giraud 2019), se está produciendo una eliminación gradual de los TR de los mapas y las definiciones nacionales de arroyos, lo que se traduce en la pérdida de su estatus oficial como cursos de agua (Cottet et al., 2023). Las implicaciones del olvido normativo de los TR determinan la exclusión de los análisis sistemáticos sobre el estado ecológico y la gestión caso por caso, donde suelen definirse restricciones a las actividades humanas que puedan afectar a los cuerpos de agua aguas abajo (Acuña et al., 2014).

1.6 Cómo evaluar la intermitencia del flujo

La gran variabilidad espacial y temporal de las condiciones hidrológicas define obstáculos fundamentales para estudiar la intermitencia de los TR. Para disponer de patrones claros de intermitencia fluvial es fundamental conocer las condiciones hidrológicas que pueden experimentar los ríos junto con la frecuencia, duración y estacionalidad de estos cambios en las condiciones de caudal. Además, sólo es posible comprender la evolución de la intermitencia a lo largo del tiempo y la alteración del régimen natural de caudales comparando los datos en tiempo real con un conjunto de datos a largo plazo que pueda utilizarse como RC (Condición de Referencia) del río (Magand et al., 2020).

A lo largo de los años, se han desarrollado varios métodos y enfoques para caracterizar el régimen hidrológico y la intermitencia del caudal de las TR:

- **Estudios de campo.** Los estudios de campo son una de las mejores soluciones para adquirir datos en tiempo real sobre las métricas del régimen de caudal y pueden evaluar con gran precisión qué condición hidrológica se da en cada momento (Magand et al., 2020). Los principales obstáculos son las escasas posibilidades de reproducir las campañas. La ciencia ciudadana y el crowdsourcing podrían ser soluciones viables cuando los tramos temporales sean de fácil acceso.
- **Estaciones de aforo.** Las estaciones de aforo son una de las mejores soluciones para obtener datos a largo plazo y evaluar la posible evolución de la descarga de caudal a lo largo de los años. Los principales inconvenientes son la escasa presencia de estaciones de aforo en tramos intermitentes y su problema para medir caudales pequeños o la presencia/ausencia de agua durante la fase de encharcamiento (Oueslati et al., 2015).
- **Sensores logger.** Otro método para obtener datos en tiempo real y a medio plazo son los registradores de campo que pueden medir la temperatura del agua, la conductividad eléctrica o ambas (Chapin et al., 2014). Estos instrumentos pueden detectar el movimiento de los frentes de humedecimiento y secado (Bhamjee y Lindsay, 2011), pero podrían tener dificultades para distinguir entre el agua que fluye y el agua estancada. Además, el inconveniente es la posibilidad de que los instrumentos sean arrastrados o enterrados durante las inundaciones o que su integridad se vea comprometida por el vandalismo (Magand et al., 2020).

- **Modelización hidrológica.** Los modelos hidrológicos actuales siguen estando sesgados a la hora de predecir la variabilidad de la descarga de caudal en los TR. Sobreestiman los eventos de caudal cero y siguen sin predecir la variabilidad espacial de las condiciones hidrológicas (Datry et al., 2012; Gallart et al., 2017). Además, también existen varios límites en la modelización de la interacción entre las aguas superficiales y subterráneas sin información sobre el estado de humedad del lecho del río durante los días de caudal nulo (Ye et al., 1997). La mejora de los modelos hidrológicos es un aspecto importante que todavía debe ganar para permitir la aplicación en TRs (Magand et al., 2020).
- **Teledetección.** La teledetección ha definido importantes oportunidades para vigilar las condiciones de los TR. Los estudios aerotransportados permiten realizar estudios rápidos y prolongados en tramos intermitentes, aunque sea complicado llegar personalmente al cauce (Gao et al., 2021). Las imágenes de satélite pueden devolver periódicamente, a veces con un tiempo de revisita inferior a una semana, imágenes multiespectrales de toda la red fluvial, a través de las cuales es posible seguir constantemente la evolución de las fases acuáticas (Cavallo et al., 2021a, 2022a). El principal inconveniente de la imagen de satélite es la resolución espacial, que dificulta la aplicación para ríos y arroyos estrechos (Costigan et al., 2017). En la sección 2.3 se presenta una descripción más detallada de esta técnica.

2. Buenas prácticas en la identificación de ríos temporales

A escala mundial, los TR siguen siendo ignorados por los hidrólogos y los gestores del agua (Llanos-Paez & Acuña, 2022) y, en consecuencia, no han desarrollado suficientes métodos basados en la ciencia para gestionar estos ecosistemas acuáticos y terrestres únicos. El proyecto RIVERTEMP tiene como objetivo implementar herramientas y recursos para luchar contra el cambio climático y su impacto en los ríos temporales y apoyar y desarrollar capacidades verdes y digitales en el sector de la educación superior sobre este tema específico. El proyecto implica asociaciones estratégicas entre instituciones de educación superior (Politecnico di Torino (IT), Università degli Studi di Salerno (IT), Universitat Politècnica de Valencia (ES) y Polytechnic of Kritis (GR)), pequeñas y medianas empresas (DRAXIS ENVIRONMENTAL S.A. (GR)) y proveedores de educación y formación profesional (FEMXA FORMACIÓN S.L.U. (ES)). Las sinergias con otras iniciativas como el proyecto DRYvER pretenden crear una base de datos completa de TRs. El proyecto RIVERTEMP tiene como objetivo desarrollar una herramienta informática innovadora, un repositorio basado en SIG, una plataforma de e-learning y un MOOC (Massive Open Online Course), así como el material de formación relacionado para el mapeo masivo de TRs. Destaca el papel de la educación superior en la promoción de la gestión responsable del agua y pretende colmar las lagunas existentes en la educación sobre el agua. El proyecto producirá recursos educativos abiertos y llevará a cabo actividades de difusión y explotación.

En el siguiente capítulo, recogemos un resumen de algunas de las mejores prácticas para identificar y clasificar las TR, utilizando la duración y la frecuencia (o permanencia) de las condiciones de flujo, estancamiento y sequía. La siguiente revisión considera los proyectos de la UE MIRAGE y DRYVER y el uso del procesamiento de imágenes de satélite para la identificación y clasificación de TRs. Además, mencionamos los repositorios basados en SIG para la gestión y el uso de bases de datos de código abierto.

2.1 El proyecto MIRAGE

En el contexto de la publicación del Plan de salvaguardia de las aguas europeas de la Comisión Europea, el marco propuesto por MIRAGE para la caracterización de la dinámica ecohidrológica y la descripción sistemática del impacto medido para los ríos temporales podría aportar un valor

añadido considerable a la revisión por parte de la UE de todas las políticas hídricas pertinentes. El proyecto recomendó adiciones a los artículos de la DMA, incluida una definición explícita de los TR, la adaptación de los objetivos medioambientales a sus peculiaridades y el establecimiento de un método adecuado para determinar el estado inicial y las acciones específicas en los planes hidrológicos de cuenca (Nikolaidis et al., 2013).

El proyecto MIRAGE desarrolló una Caja de Herramientas para reunir todos los enfoques que adaptan los estándares de calidad de referencia desarrollados para arroyos permanentes, en masas de agua no temporales (Prat et al., 2014). La caja de herramientas consiste en una serie de metodologías que están diseñadas para ser utilizadas de forma secuencial para permitir el establecimiento del estado ecológico y químico de los arroyos temporales y relacionar estos hallazgos con el estado hidrológico de los arroyos. La caja de herramientas MIRAGE está pensada para servir a los siguientes fines (i) la determinación del régimen hidrológico del arroyo; (ii) el diseño de calendarios adecuados para el muestreo biológico y químico en función del estado acuático del arroyo; (iii) el cumplimiento de criterios para el diseño de estaciones de condiciones de referencia; (iv) el análisis de las modificaciones hidrológicas del régimen del arroyo (con la definición del estado hidrológico); y (v) el desarrollo de nuevos métodos para medir el estado ecológico (incluyendo métodos estructurales y funcionales) y el estado químico cuando las condiciones hidrológicas del arroyo distan mucho de las de los arroyos permanentes.

La caja de herramientas del MIRAGE es una disposición secuencial de herramientas que cubren los aspectos hidrológicos [herramienta de régimen temporal de los cursos de agua (TSR), herramienta de estado hidrológico (HS) y herramienta de estado acuático (AS)], ecológicos [herramienta de estado de referencia (RC), herramienta de evaluación biológica (BioAS) y herramienta ES] y químicos [herramienta de estado fisicoquímico (PCHS) y herramienta CHS] de la evaluación de los cursos de agua temporales, (Figuras 6).

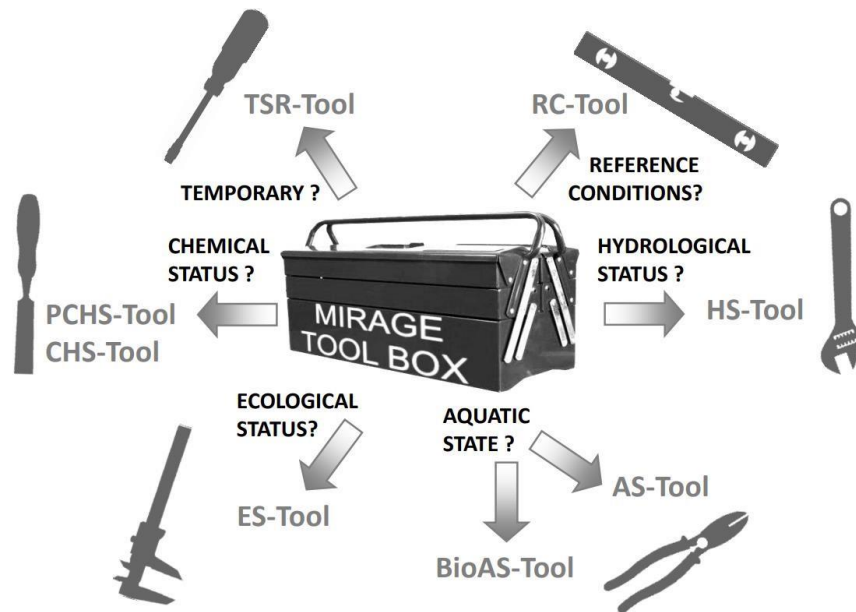


Figura 6. Representación esquemática de la MIRAGE Toolbox y las herramientas que contiene (Prat et al., 2014).

La siguiente imagen (Figura 7) resume el proceso global en el que cada herramienta - anteriormente mencionada- debe utilizarse secuencialmente. Puede encontrarse una descripción más detallada de la caja de herramientas MIRAGE en Prat et al. (2014).

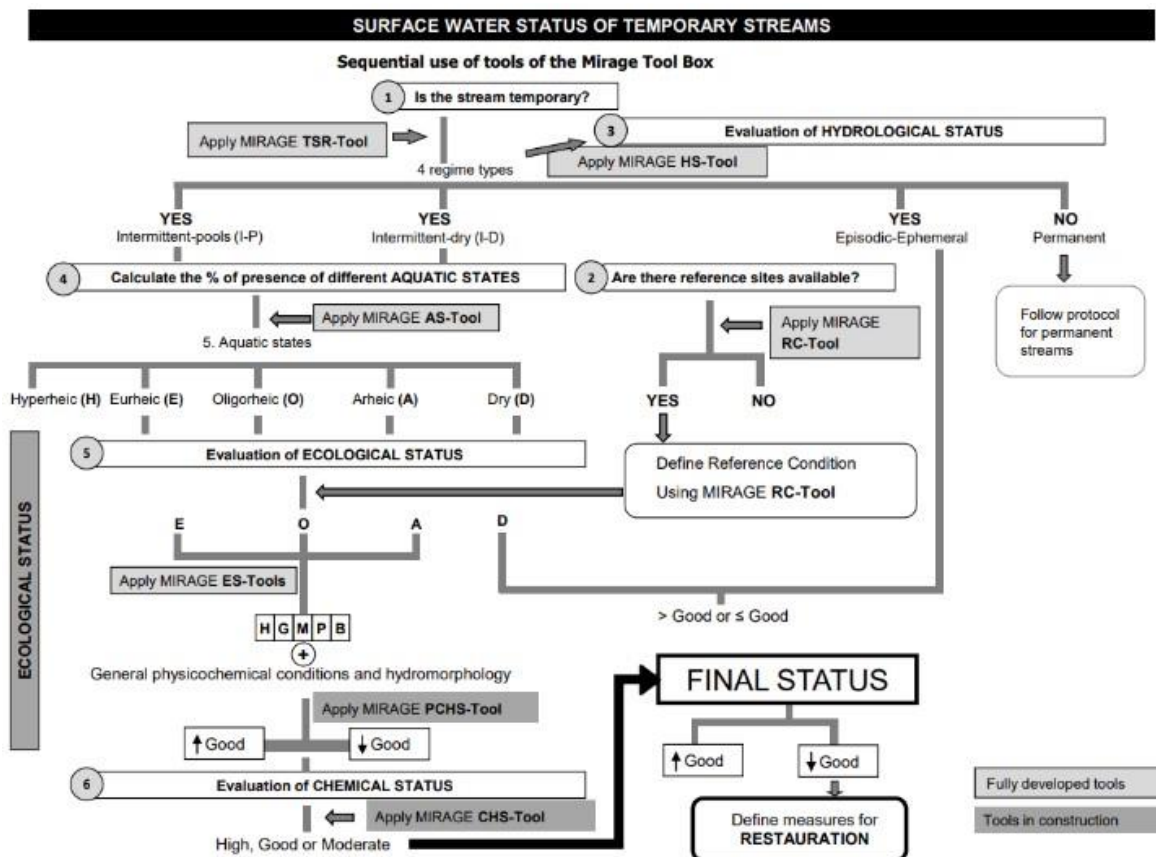


Figura 7. Diagrama de flujo que muestra el uso secuencial de las herramientas de la caja de herramientas MIRAGE (Prat et al., 2014).

2.1.1 Régimen temporal del arroyo - Herramienta

La herramienta Temporary stream regime - Tool (TSR-Tool) permite suponer si un río es temporal y su régimen temporal (Gallart et al., 2012) utilizando dos métricas: el número relativo anual a largo plazo de meses con caudal (Mf) y la predictibilidad de 6 meses de estación seca (Sd6) (Tabla 1). Deben utilizarse datos sobre la presencia-ausencia de caudal a escala mensual con un periodo de seguimiento de al menos 10 años para calcular estos dos parámetros; si no hay datos, puede utilizarse un modelo de precipitación-escorrentía o entrevistas a los habitantes para obtener las series temporales.

La figura 8 resume en un diagrama de flujo los pasos de TSR - Tool.

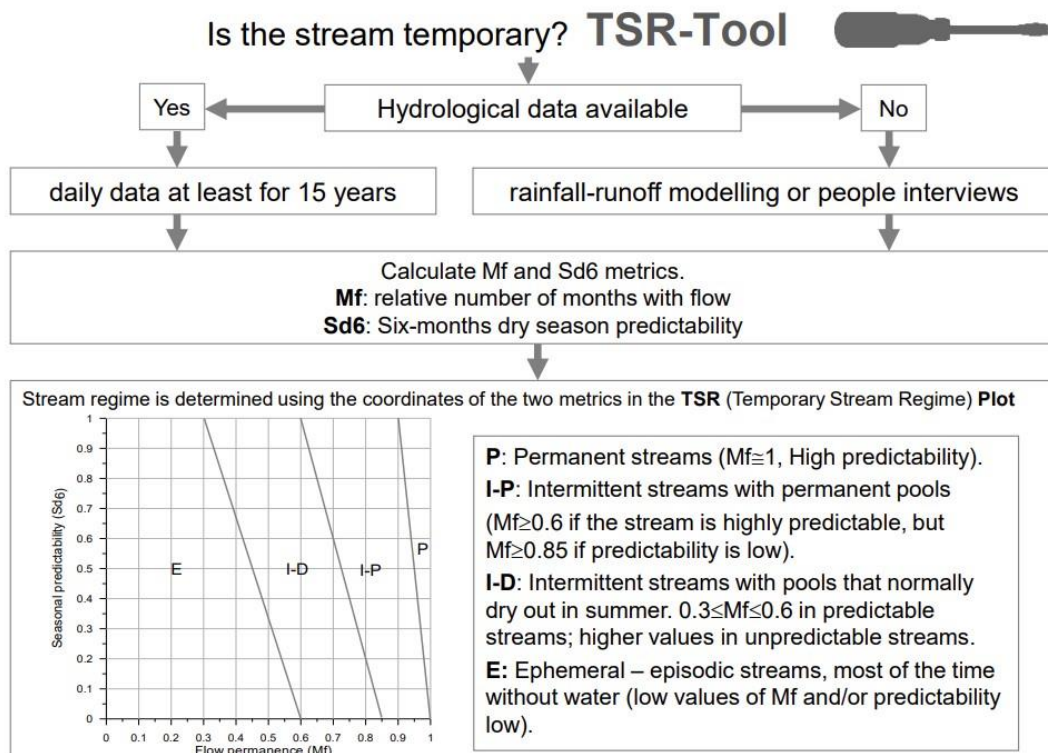


Figura 8. Herramienta TSR. Diagrama de flujo que muestra los pasos utilizados para determinar si el río es temporal (Prat et al., 2014).

Evaluadas las dos métricas, se utilizaron para trazar en el TSR Plot el punto correspondiente al caso del río. Dependiendo de la zona en la que se encuentre el punto, es posible clasificar el

régimen hidrológico. En la Figura 8, es posible ver cuatro regímenes hidrológicos diferentes: permanente (P), intermitente con pozas en el período sin caudal (I-P), intermitente con un canal seco en el período sin caudal (I-D) y episódico-efímero (E).

2.1.2 Condiciones de referencia - Herramienta

Debido al enfoque definido en la DMA, asumir y controlar el estado actual de un río es fundamental para la comparación con las condiciones de referencia (CR). Las CR se definen como una condición natural sin presiones antropogénicas y se utilizan como estándar para evaluar el estado actual (Stoddard et al., 2006). Para seleccionar la CR adecuada para los ríos temporales, se utiliza una lista de 37 atributos (Figura 9) basada en criterios anteriores utilizados en España por Bonada et al. (2004), Munné y Prat (2009) y Sánchez-Montoya et al. (2009).

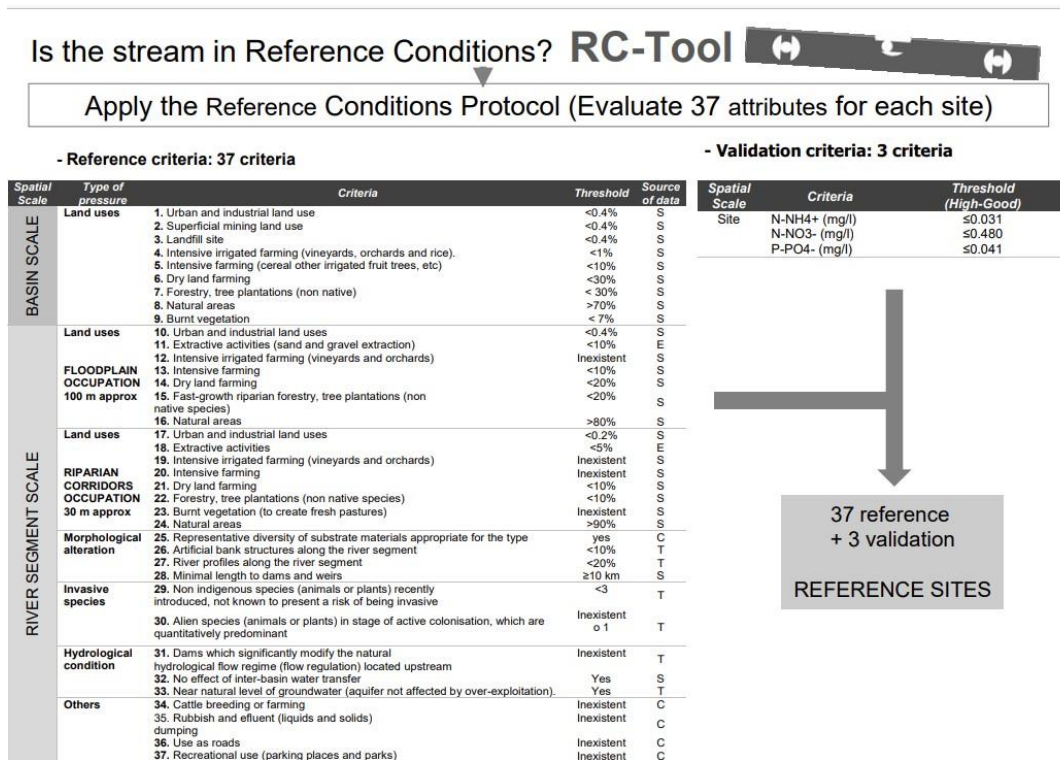


Figura 9. RC-Tool. Diagrama de flujo que muestra los pasos para obtener un modelo para la situación de condiciones de referencia (Prat et al., 2014).

Es obligatorio validar esta selección para confirmar el CR elegido. El método debe ser diferente del anterior y, por lo tanto, se utilizan los tres criterios, relacionados con las condiciones de los nutrientes, enumerados en la segunda columna de la Figura 9 (Sánchez-Montoya et al., 2012).

2.1.3 Estado hidrológico - Herramienta

Las presiones antropogénicas pueden afectar a la temporalidad de los ríos modificando su estado (o régimen) hidrológico. La Herramienta de Estado Hidrológico (HS - Tool) permite determinar el HS de un río evaluando la duración y temporalidad de las ocurrencias de los diferentes estados acuáticos (AS) o periodos sin caudal. Definida la CR con la herramienta CR y evaluadas las dos métricas M_f y Sd_6 , los dos puntos se trazaron en el TSR-Plot. La distancia euclidiana entre los dos puntos, que representan el sitio RC y el área de estudio, se compara con la variabilidad anual de las métricas para evaluar el posible cambio de un régimen hidrológico a otro. El protocolo de estos pasos se muestra en la Figura

10.

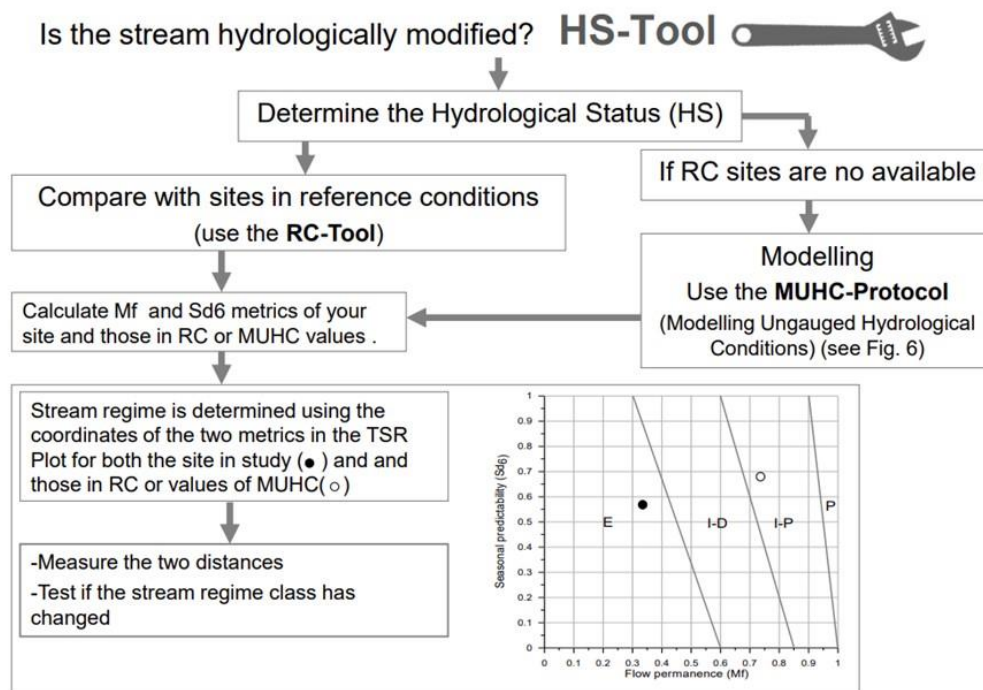


Figura 10. Herramienta HS. Diagrama de flujo que muestra los pasos utilizados para determinar el estado hidrológico en función de la disponibilidad o no disponibilidad de CR (Prat et al., 2014).

Si no hay sitios que puedan utilizarse como RC, el proyecto MIRAGE desarrolló el protocolo Modelling Ungauged Hydrological Conditions (MUHC) (Figura 11) para simular al menos 5 años del caudal natural y del alterado utilizando modelos hidrológicos para obtener los dos puntos en TRS - Plot para comparar con la variabilidad anual de las métricas (por ejemplo, Soil and Water Assessment Tool y SIMulation of GROundwater).

MIRAGE MUHC PROTOCOL (Modelling Ungauged River basins) **HS-Tool**

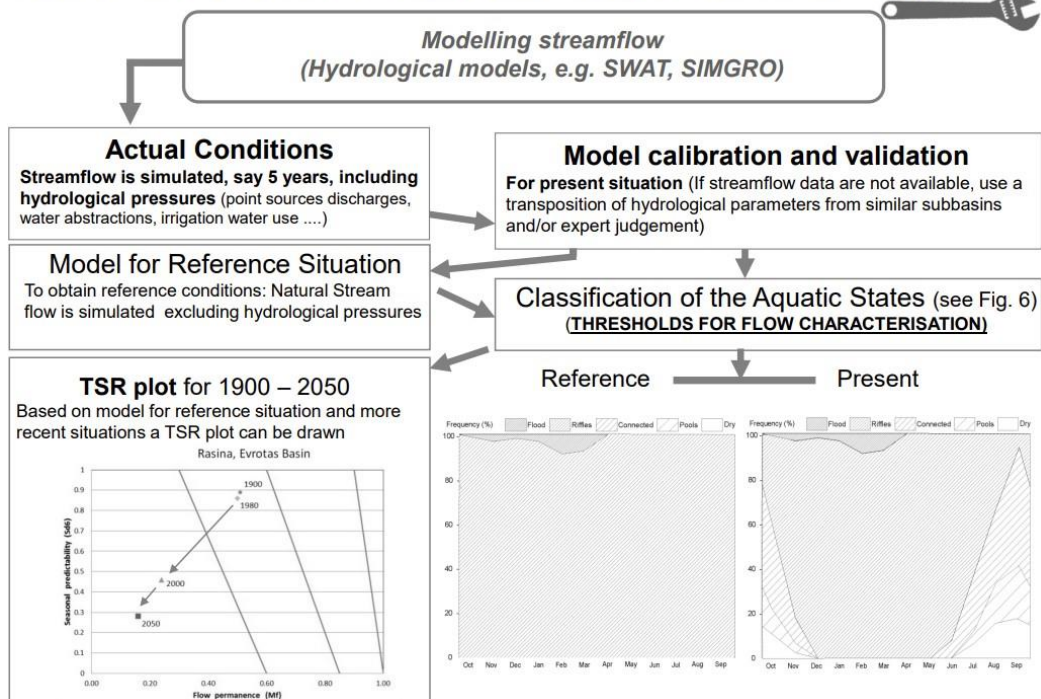


Figura 11. Diagrama de flujo que muestra los pasos utilizados para llevar a cabo el protocolo MUHC para establecer el estado hidrológico si no hay estaciones de aforo en las cuencas estudiadas (Prat et al., 2014).

2.1.4 Estados acuáticos- Herramienta

Según Gallart et al. (2012), existen seis estados acuáticos: Hiperreico (H), Euréico (E), Oligorreico (O), Arreico (A), hiporreico y edáfico. La herramienta AS añade información cualitativa a la descripción del régimen fluvial y es propedéutica para la herramienta de estado ecológico. La herramienta AS (Figura 12) permite determinar la mejor fecha para los muestreos de biota acuática, normalmente durante el estado euréico u oligoréico. Si no se dispone de información sobre la aparición de AS, es posible utilizar registros de caudal (o simulación). Para determinar los valores umbrales de caudal que evalúan el paso de un AS a otro, es obligatorio realizar observaciones de campo y mediciones de caudal sincrónicas

(Gallart et al., 2012).

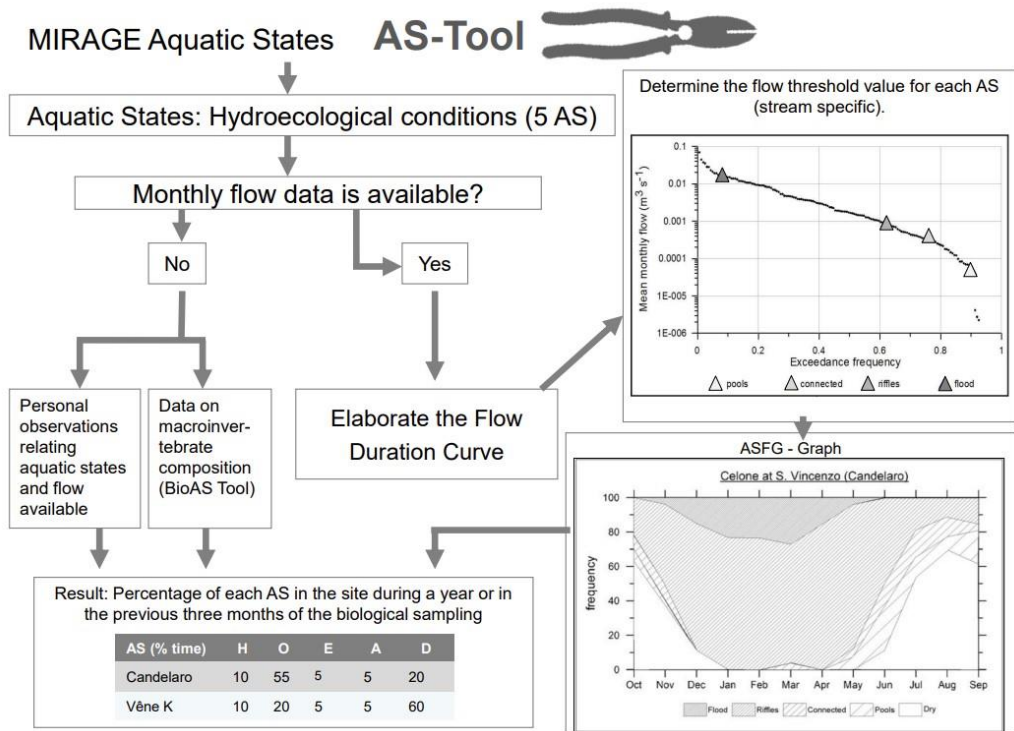


Figura 12. Herramienta AS. Diagrama de flujo que muestra los pasos para determinar los estados acuáticos de los arroyos (Prat et al., 2014).

Se ha desarrollado una nueva herramienta, BioAS - Tool, que permite a los gestores definir las AS a partir de muestras de macroinvertebrados recogidas en el pasado. Esta herramienta es capaz de evaluar la conectividad del flujo utilizando algunos rasgos biológicos (es decir, la proporción de filtradores, organismos que se alimentan de detritus < 1 mm, temporalmente unidos al sustrato, voladores, con un tamaño corporal medio entre 1 y 2 cm, que se alimentan de animales muertos ≥ 1 mm, con diapausa y adultos (imago) etapas acuáticas) y el cambio en la abundancia de las familias de macroinvertebrados que dominan en condiciones de flujo (es decir, e. Hydropsychidae, Simuliidae, y Heptageniidae) a las que se extienden en charcas desconectadas (i.e. Hydropsychidae, Simuliidae, y Heptageniidae) (Cid et al., 2016).

2.1.5 Estado ecológico - Herramienta

La Herramienta de Estado Ecológico (Herramienta ES) debe evaluar el estado ecológico de los ríos temporales basándose en las cinco clases de calidad exigidas por la DMA (es decir, Alta, Buena, Moderada, Mala, Insuficiente). Para aplicar esta herramienta, las herramientas TSR y AS son obligatorias. La determinación del ES se basa en los estudios de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos. El proyecto MIRAGE utilizó varias métricas biológicas como el número de taxones de familias, el número de taxones de Ephemeroptera, Plecoptera y

Trichoptera (EPT) y dos índices multimétricos, el STAR Intercalibration Common Metric Index (STAR_ICMi) y el Index Multimetric Mediterrani quanTitatiu index (García-Roger et al., 2011). Para condiciones secas, cuando es imposible investigar la biota acuática, el proyecto MIRAGE desarrolló una metodología que utiliza invertebrados terrestres para determinar el ES (Steward et al., 2011). Un método más completo viene dado por la combinación de métricas biológicas con métricas funcionales, que puede aplicarse en todos los SV. En el proyecto MIRAGE, la métrica más funcional utilizada es la descomposición de la hojarasca (Gessner & Chauvet, 2002; Datry et al., 2011).

En la Figura 13 se muestra un diagrama de flujo que resume la herramienta ES. Para tener más detalle sobre la técnica de muestreo de macroinvertebrados acuáticos desarrollada dentro del proyecto MIRAGE, se recomienda leer García-Roger et al. (2011).

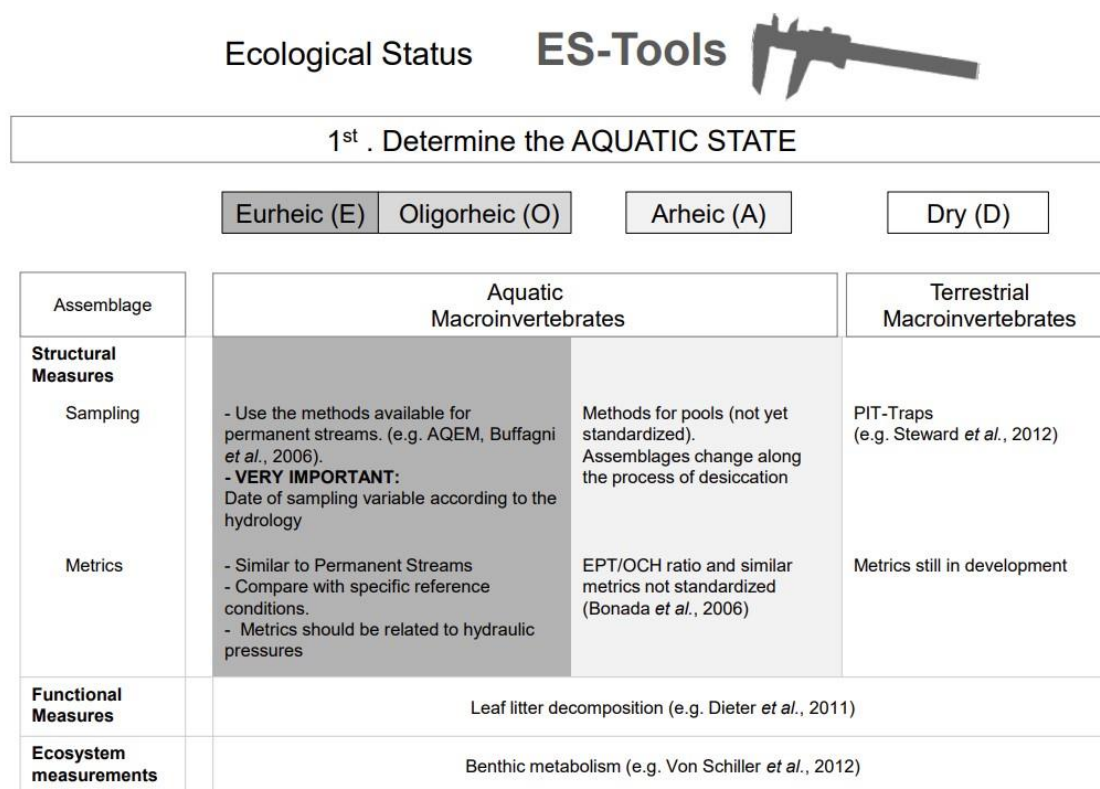


Figura 13. ES-Tool Descripción de diferentes índices o índices funcionales utilizados para determinar el estado ecológico para diferentes Ass (Prat et al., 2014).

2.1.6 Estado fisicoquímico-Herramienta

Esta herramienta se utiliza para determinar las variables fisicoquímicas (PCH) establecidas en la DMA 2000/60/UE: condiciones térmicas, oxígeno, salinidad, estado de acidificación y

concentraciones de nutrientes. Los valores umbral de buenas condiciones para ríos temporales (Figura 14) se proponen en SánchezMontoya et al. (2012). Asimismo, para el PCHS - Tool, el Eurheic y el Oligorheic son las mejores condiciones para aplicar este método. Para condiciones secas, el PCHS - Tool no puede ser utilizado.

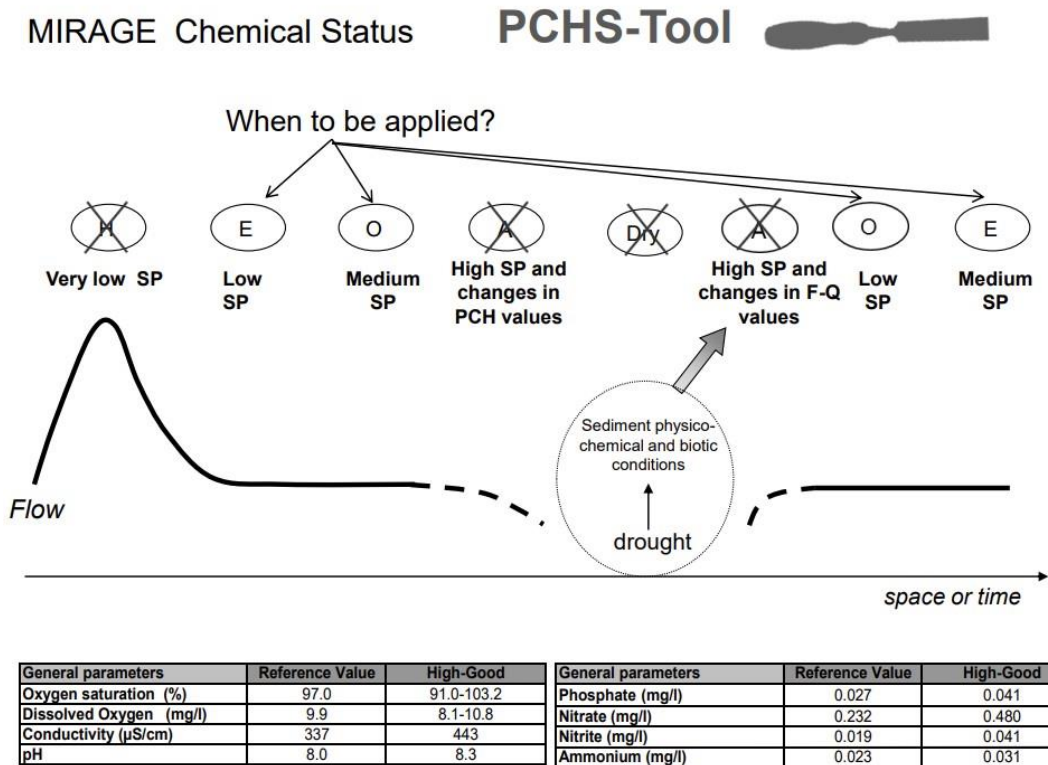


Figura 14. Herramienta PCHS. Escala temporal de aplicación de la PCHS-Tool en relación con la transición de AS en el ciclo hidrológico natural de arroyos temporales (Prat et al., 2014).

2.1.7 Estado químico-Herramienta

El proyecto Mirage desarrolla una directriz específica para el seguimiento de sustancias peligrosas en ríos temporales, debido a la limitación de adaptar las incluidas en la DMA 2000/60/CE que no siempre son adecuadas para los ríos temporales (Figura 15).

Si se trata de un río I-P, durante los estados euréico y oligoréico, es posible utilizar el método para masas de agua (CE, 2010). Además, el método debe incluir el muestreo de la fase sólida.

Durante las fases secas de los ríos I-P o para los ríos I-D y E, es fundamental estudiar los sedimentos donde pueden encontrarse sustancias peligrosas. Debido a la alta variabilidad espacial que marca los ríos temporales, es obligatorio que cada mesohábitat sea muestreado, aunque haya más de uno en la misma sección transversal. El sedimento debe ser muestreado al

menos una vez al año, en particular se recomienda antes de los periodos secos, cuando el cauce se encuentra en estado Oligorreico y bajas velocidades de corriente.

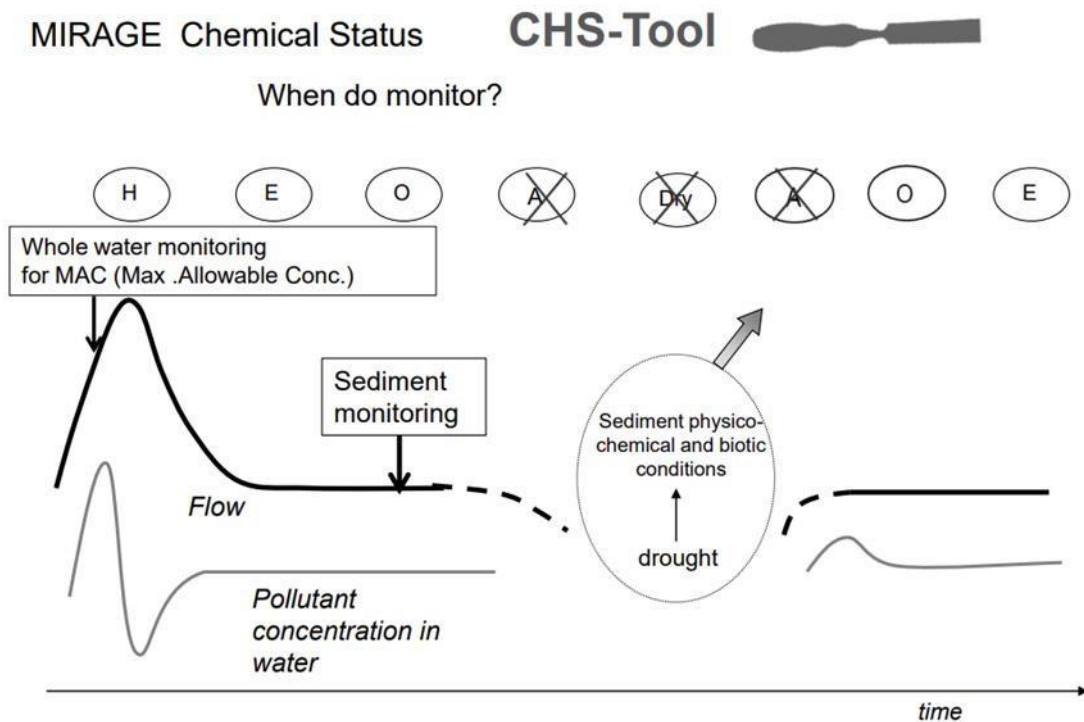


Figura 15. CHS- Herramienta para el seguimiento de sustancias peligrosas en ríos temporales desarrollada durante el proyecto MIRAGE (Prat et al., 2014).

2.2 El proyecto DRYvER

El Acuerdo de París (2015) logró uno de sus objetivos más cruciales al reconocer la importancia de proteger la biodiversidad y mantener la integridad funcional de los ecosistemas frente al cambio climático y sus efectos. En consecuencia, la conservación de las redes fluviales se ha convertido en una prioridad más que nunca, dado su valor ecológico en la prestación de servicios ecosistémicos clave (Thorp et al., 2010). La atención que investigadores e instituciones están prestando a los TR es crucial debido a la falta de conocimientos sobre los efectos que el cambio climático tendrá en este tipo de ríos y en sus servicios y funciones ecosistémicos (Datry et al., 2021).

Así, el proyecto Horizonte 2020 reunió a un equipo multidisciplinar de expertos de 11 países de Europa, Sudamérica, China y Estados Unidos para investigar y mitigar estos retos medioambientales. Su esfuerzo de colaboración dio lugar al inicio del proyecto DRYvER (Securing

biodiversity, functional integrity, and ecosystem services in DRYing riVER networks, or temporary rivers).

Datry et al. (2021) explican cómo el objetivo principal de este proyecto es investigar nueve TR en redes fluviales de desecación (DRN) a lo largo de una amplia extensión geográfica que abarca Europa y la Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños (CELAC) para comprender la correlación directa e indirecta entre el cambio climático y la alteración de la biodiversidad, las funciones ecosistémicas y los servicios ecosistémicos en estos 9 ríos. La Figura 16 ilustra la localización geográfica de los nueve ríos (6 en Europa y 3 en la CELAC) seleccionados como casos de estudio para el proyecto DRYvER.

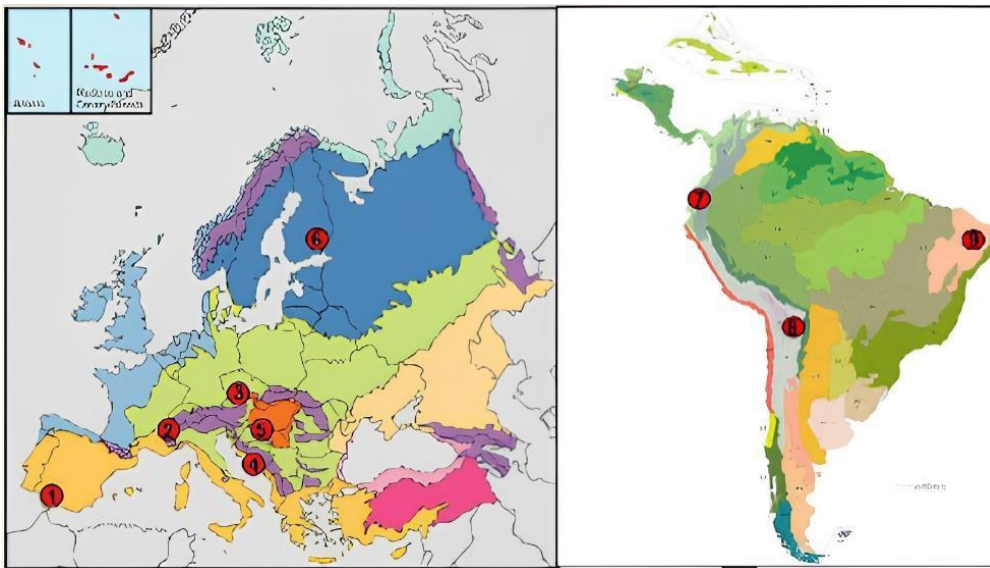


Figura 16. Localización de los nueve ríos de Europa y Sudamérica tomados como casos de estudio para el proyecto DRYvER (Datry et al., 2021). Los puntos rojos destacan: 1) la red del Genal en Andalucía (España, ecorregión mediterránea). 2) La red Albarine en el sur del Jura (Francia, ecorregión alpina). 3) La red Velička en Morava (República Checa, ecorregión continental). 4) La red Krka en el Karst Dinárico (Croacia, ecorregión balcánica). 5) La red Bükkösdivíz, en el Mecsek (Hungría, ecorregión de Panonia). 6) La red Vantaanjoki, en la región de HelsinkiUusimaa (Finlandia, ecorregión boreal). 7) La red Cube, en la región Andino-Choco. (Ecuador, tierras bajas del Pacífico). 8) La red de Río Chico, en la región de Sucre (Bolivia, ecorregión de los Altos Andes Centrales). 9) La red de Jaguaribe, en la región semiárida del Nordeste (Brasil, ecorregión de Caatinga).

Además, el proyecto DRYvER se esfuerza por desarrollar un marco meta-sistémico aplicable en todo el mundo (Cid et al., 2021) y estrategias, directrices y herramientas basadas en el conocimiento para incluir la gestión adaptativa de los TR en las políticas reales de mitigación y adaptación al cambio climático (Datry et al., 2021). El proyecto ya ha producido un número considerable de artículos, informes y documentos accesibles en el sitio web (<https://www.dryver.eu/results/>). El proyecto DRYvER también se esforzará por crear un amplio conjunto de datos de código abierto para el seguimiento de las condiciones hidrológicas de las TR.

Teniendo en cuenta los límites de las estaciones de aforo para controlar las condiciones de caudal cero y las lagunas, los estudios de campo siguen siendo uno de los mejores métodos para evaluar el estado de las TR en tiempo real (Magand et al., 2020). La necesidad de una gran cantidad de encuestas de campo promueve los proyectos de ciencia ciudadana y el crowdsourcing como posibilidades para ampliar la recopilación de datos de campo y concienciar al público sobre cuestiones medioambientales (Conrad & Hilchey, 2011; Johnson et al., 2014). Siguiendo este enfoque, uno de los principales resultados de este proyecto es la aplicación de código abierto DRYRivERS, una aplicación clásica de crowdsourcing que permite a cualquier ciudadano recopilar información sobre los eventos de secado de los TR.

Esta aplicación existe en dos versiones diferentes:

- La aplicación móvil se desarrolló para permitir el registro de datos fuera de línea sobre el terreno de forma sencilla. Está disponible en Google Play (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.dryrivers&pli=1>) y App Store (<https://apps.apple.com/us/app/dryrivers/id1593273058>).

La aplicación web (<https://www.dryver.eu/app>) es un mapa en tiempo real de todos los datos registrados. Aquí los usuarios pueden añadir nuevos puntos y registros, o pueden editar los datos registrados anteriormente.

Para registrar el estado hidrológico de un tramo de río con la aplicación DRYRivERS, los usuarios pueden seguir estos sencillos pasos:

- Añadir la ubicación del lugar (se puede utilizar en el GPS del teléfono o se puede encontrar en un punto existente en el mapa).
- Haz una foto que muestre el estado del río.
- Evaluar el estado hidrológico en el cauce del río entre agua fluente, pozas desconectadas o lecho seco.
- Después de registrar los datos, la información debe guardarse y cargarse.

La aplicación puede grabar todos los datos tan pronto como el teléfono móvil se conecte de nuevo a Internet (Wi-Fi o Internet móvil), por lo que es posible grabar la parte del río incluso donde no hay cobertura de red.

Para obtener información más detallada, este enlace https://youtu.be/TZL4Rx_PxrY proporciona un vídeo tutorial para la app DRYRivERS o es posible seguir las instrucciones dentro del

documento "Tutorial para la aplicación web DRYRivERS" proporcionado por DRYvERS. A continuación hay un breve resumen tutorial que explica los pasos esenciales para iniciar y explotar la app como un simple usuario.

2.2.1 Tutorial de la aplicación móvil

La aplicación móvil sirve como herramienta operativa para que las personas documenten y registren las condiciones hidrológicas de las TR. A continuación se ofrece un resumen del tutorial:

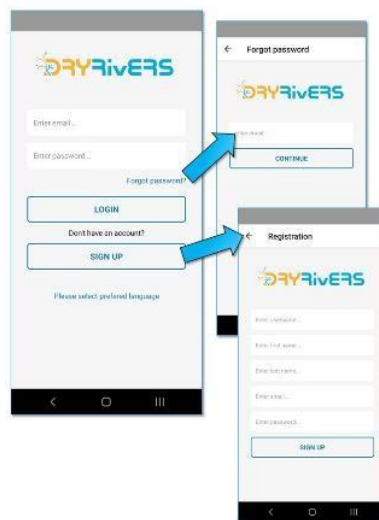


Figura 17. Inicio de sesión o registro (fuente: <https://www.dryver.eu/citizen-science/how-doesit-work>).

- Al iniciar la aplicación, aparece la sección de la Figura 17. Para acceder a su cuenta existente en la aplicación, introduzca su dirección de correo electrónico y contraseña, y haga clic en el botón INICIAR SESIÓN. Si es un usuario nuevo, pulse el botón REGISTRARSE en la pantalla de inicio de la aplicación. Este paso le llevará a la página de Registro, donde podrá introducir la información necesaria.

Una vez que haya completado el proceso de registro, haga clic en el botón REGISTRARSE para finalizar. Si desea seleccionar su idioma preferido, haga clic en el enlace Seleccione su idioma preferido.

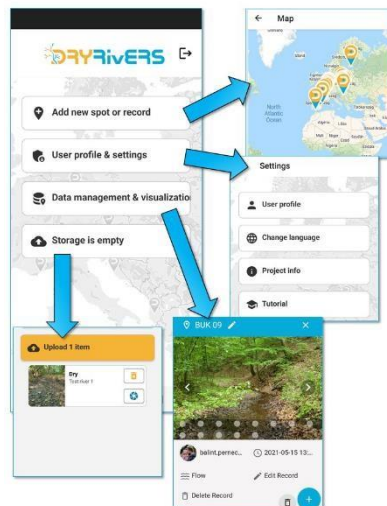


Figura 18. Opciones de la pantalla de inicio (fuente: <https://www.dryver.eu/citizen-science/howdoes-it-work>).

- La pantalla de inicio (Figura 18) ofrece cuatro opciones. Puede añadir un nuevo punto o registro haciendo clic en el botón homónimo. Para acceder a su perfil de usuario y ajustar sus preferencias, haga clic en el menú Perfil de usuario y configuración (Figura 18). Puede cargar spots/registros grabados desde el almacenamiento de su dispositivo seleccionando el botón Cargar elementos (Figura 18). Para gestionar y editar sus spots y registros, puede ir al menú Gestión y visualización de datos (Figura 18). Para salir de la aplicación, haga clic en el icono Salir situado junto al logotipo de la aplicación DRYRIVERS.



Figura 19. Añadir una nueva mancha (fuente: <https://www.dryver.eu/citizen-science/howdoes-it-work>).

- Al hacer clic en el botón Añadir nuevo punto o Registro en la pantalla de Inicio, se le redirigirá a la pantalla Mapa (Figura 19). Desde allí, tiene dos opciones para localizar el punto que

desea grabar: bien utilizando el icono del GPS para encontrar su posición actual, bien desplazándose manualmente y haciendo zoom en el mapa. Tu posición actual se indica con una cruz negra. Existen tres métodos para añadir un nuevo punto o registro: A) Método GPS: Pulse el icono GPS para determinar su posición actual y, a continuación, pulse el icono Añadir nuevo. Esto añadirá un nuevo punto en su posición actual (esta opción sólo es posible cuando la precisión del GPS es inferior a 200 m). B) Método basado en el mapa: Navegue hasta la posición deseada en el mapa desplazándose y haciendo zoom. Toque el mapa para colocar un marcador, que aparecerá con un contorno azul. A continuación, pulse el icono Añadir nuevo. B) Añadir un registro a un punto existente: Seleccione un marcador en el mapa tocándolo, que aparecerá con un contorno negro. Pulse el icono Añadir nuevo para añadir un nuevo registro al punto seleccionado.

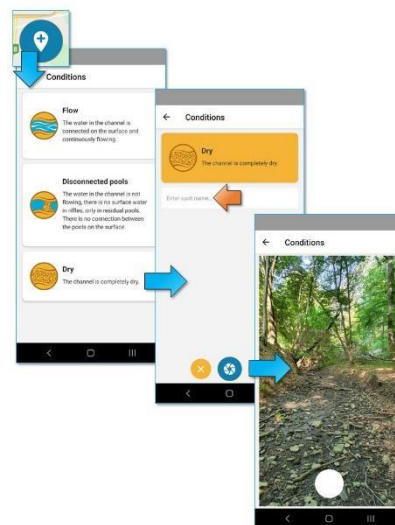


Figura 20. Pantalla de condiciones (fuente: <https://www.dryver.eu/citizen-science/howdoes-it-work>).

- Al seleccionar el icono Añadir nuevo en la pantalla Mapa, se le redirigirá a la pantalla Condiciones (Figura 20). Aquí se le pedirá que elija la opción de condiciones más adecuada (Caudal / Charcas / Seco) que describa con precisión el estado hidrológico del lugar. Si está añadiendo un nuevo punto, tiene la opción de introducir un nombre para el mismo (Figura 20). A continuación, se recomienda encarecidamente capturar varias fotografías (al menos una) de las condiciones actuales haciendo clic en el icono Foto y pulsando después el botón Disparador (Figura 20).

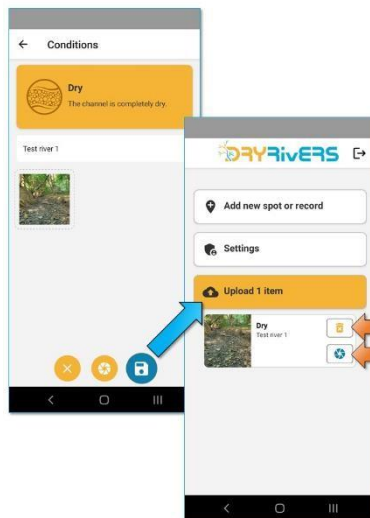


Figura 21. Carga de un elemento (fuente: <https://www.dryver.eu/citizen-science/how-does-itwork>).

- Una vez que haya completado todos los pasos necesarios, puede guardar su registro seleccionando el icono Guardar (Figura 21). A continuación, volverá a la pantalla de inicio, donde tendrá la opción de añadir otro punto o registro o cargar los elementos guardados haciendo clic en el botón Cargar elementos (Figura 21). Si lo desea, puede añadir fotos adicionales a los elementos ya guardados seleccionando el icono del obturador. Por el contrario, si ya no desea cargar determinados elementos guardados, puede eliminarlos utilizando el icono de la papelera.

2.3 Teledetección

La teledetección es una disciplina técnico-científica que permite identificar, medir y analizar las características cualitativas y cuantitativas de un objeto específico situado a distancia, basándose en mediciones de energía electromagnética, emitida, reflejada o difundida por la superficie examinada. La adquisición de datos tiene lugar gracias a sensores remotos montados en plataformas, como drones, aviones y satélites, que permiten detectar la energía electromagnética procedente de una escena y convertirla en información. Una ventaja significativa de la teledetección por satélite, en comparación con otras plataformas remotas, es la posibilidad de vigilar amplias zonas con diversas resoluciones espaciales y temporales. Además, algunos archivos de satélites proporcionan series temporales de más de 40 años (por ejemplo, Landsat). El amplio uso de los datos satelitales también se ve favorecido por la política

de distribución gratuita adoptada por algunas agencias espaciales (por ejemplo, el programa Copérnico de la Agencia Espacial Europea), así como por los programadores de investigación y educación creados por empresas privadas (por ejemplo, Planet, Esri).

Las plataformas de satélites están equipadas con sensores que miden la radiación electromagnética reflejada o emitida por un objeto o superficie determinados. Según la funcionalidad del sensor, se distinguen dos tipos principales de teledetección: la teledetección activa y la teledetección pasiva. En la teledetección activa, el sensor produce radiación electromagnética para iluminar la escena y registra la señal de retorno. El sensor activo más común es, por ejemplo, el radar de apertura sintética (SAR), que envía un haz de radiación y registra la señal de retorno después de que haya interactuado, y por tanto haya sido modificada, desde la superficie investigada. Por el contrario, la teledetección pasiva hace uso de sensores pasivos que detectan la energía natural emitida o reflejada por el objeto observado, y es la tecnología más utilizada para vigilar la superficie terrestre (Wulder et al., 2019). En los sistemas de teledetección pasiva, la fuente de energía más común es el sol, que irradia la superficie terrestre con una gama continua de radiación electromagnética. Los sensores de este tipo suelen medir en diferentes canales espectrales centrados en determinadas longitudes de onda del espectro electromagnético. Típicamente, abarcan desde el visible ($0,4 \mu\text{m}$ - $0,7 \mu\text{m}$) hasta el infrarrojo ($0,7 \mu\text{m}$ - 1mm). El principal inconveniente de los sensores pasivos es la imposibilidad de observar la superficie terrestre en presencia de nubes; en consecuencia, pueden producirse largos periodos sin observación en zonas con precipitaciones frecuentes. Por otra parte, en la mayoría de los casos, los datos adquiridos por sensores pasivos no requieren largos y complicados pasos de preprocesamiento. Con frecuencia son corregidos radiométrica y geoméricamente por diversas agencias espaciales y pueden ser explotados directamente por un usuario. Además, asociando las bandas azul, verde y roja a los canales correspondientes (respectivamente azul, verde y rojo) se puede obtener una imagen en color natural (True Color), mediante una operación de síntesis aditiva del color, que puede ser fácilmente interpretada incluso por personas no expertas.

El desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de la observación de la Tierra ha contribuido al lanzamiento al espacio de varias misiones por satélite cada vez más potentes y sofisticadas. A lo largo de los años se han sucedido diversas misiones satelitales, entre ellas Landsat, MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) y la más reciente Sentinel-2. La elección de los datos satelitales que se van a utilizar, en una aplicación específica de vigilancia, depende de muchos factores, como el tamaño del objeto (por ejemplo, la longitud y la anchura del objetivo),

la resolución espacial requerida, las propiedades físicas de los objetos que se van a observar, la duración del período de observación y la frecuencia con la que es necesario seguir los cambios (Legleiter y Fonstad, 2012; Brierley y Fryirs, 2013; Gilvear y Bryant, 2016). En general, las resoluciones espacial, temporal y espectral son opuestas entre sí, se dispone de datos con resolución espacial gruesa con alta resolución temporal, y viceversa. Por lo tanto, la elección de los conjuntos de datos de teledetección por satélite más adecuados es un reto debido a las inevitables compensaciones entre la resolución espacial y el tiempo de revisita.

El uso de datos de satélite para el seguimiento de los TR se ha visto limitado hasta ahora por dos factores principales: la resolución espacial de las imágenes de satélite y la disponibilidad de imágenes a costes asequibles. Para vigilar los TR se necesitan resoluciones espaciales y temporales elevadas. Se dispone de imágenes de muy alta resolución (resolución espacial del orden de 0,5 m) para uso comercial, pero su uso para el seguimiento continuo en intervalos de tiempo largos está limitado por los elevados costes de los productos. Entre las imágenes multiespectrales de distribución gratuita y cobertura mundial sistemática, la misión Sentinel-2 ofrece la mayor resolución espacial y frecuencia de revisita.

La misión Sentinel-2 forma parte del programa Copérnico de Observación de la Tierra, dirigido por la Comisión Europea y gestionado por la Agencia Espacial Europea (ESA). La misión Sentinel-2 comprende una constelación de dos satélites de órbita polar situados en la misma órbita. El primer satélite, Sentinel-2A, lanzado el 23 de junio de 2015, proporciona imágenes con un tiempo de revisita de aproximadamente 10 días en el ecuador. Desde el lanzamiento del segundo satélite, Sentinel-2B, el 7 de marzo de 2017, el tiempo de revisita global ha pasado a ser de unos 5 días en el ecuador y de 2 a 3 días en latitudes medias. Ambos satélites están equipados con un Instrumento Multiespectral optoelectrónico (MSI), que ha proporcionado imágenes de resolución moderada desde junio de 2015 (Sentinel-2A) y marzo de 2017 (Sentinel-2B). El MSI adquiere trece bandas espectrales (ver Tabla 2) en el visible (bandas 1-2-3-4), borde rojo (bandas 5-6-7), infrarrojo cercano (NIR, bandas 8-8a), infrarrojo de onda corta (SWIR, bandas 9-10-11-12). La resolución espacial es de 10 m para las bandas 2,3,4 y 8; 60 m para las bandas 1,9 y 10 y 20 m para las demás.

Tabla 1. Cobertura espectral de los datos del satélite Sentinel-2 Cobertura espectral de los datos del satélite Sentinel-2.

Longitud de onda [nm]	Resolución espacial [m]			Región espectral
	10	20	60	

423-463			B1	Aerosol costero
458-523	B2			Azul
543-578	B3			Verde
650-680	B4			Rojo
698-713		B5		Borde rojo
733-748		B6		Borde rojo
773-793		B7		Borde rojo
785-899	B8			NIR
855-875		B8a		NIR estrecho
925-965			B9	Agua - Vapor
1350-1410			B10	SWIR - Cirrus
1565-1655		B11		SWIR
2100-2280		B12		SWIR

Gracias al excelente compromiso entre resolución espacial y temporal y a la posibilidad de descargar los datos de forma sencilla y gratuita, los datos multiespectrales de la misión por satélite Sentinel-2 son los más apropiados para el seguimiento de los TR.

Las imágenes de satélite adquiridas por sensores pasivos se han explotado ampliamente para cartografiar superficies de agua a lo largo de ríos perennes debido a la gran disponibilidad de datos, así como a las resoluciones espaciales y temporales adecuadas (Piégay et al., 2020). Algunos autores han desarrollado métodos de clasificación supervisados o no supervisados para generar mapas de agua o de la cubierta terrestre. Baki y Gan (2012) implementaron una red neuronal no supervisada para extraer clases de cobertura del suelo (agua, sedimentos y vegetación) a partir de imágenes Landsat para el seguimiento de la erosión/acreción de las riberas y la dinámica insular del río Jamuna durante tres décadas (1973-2003). Carbonneau et al. (2020) utilizaron un método de clasificación supervisado para extraer clases de cobertura del suelo (agua, vegetación y sedimentos) y delimitar canales activos a partir de imágenes Sentinel-2 en cuatro ríos italianos: el río Po, el río Sesia, el río Paglia y el río Bonamico.

Aunque hasta la fecha se han desarrollado varias técnicas para la extracción de superficies de agua a partir de sensores multiespectrales, todavía no existe un método de clasificación universal que funcione para todos los casos de estudio, y la extracción de la cubierta terrestre a partir de imágenes de satélite multiespectrales es un tema en constante evolución (Huang et al., 2018; Talukdar et al., 2020).

Una forma sencilla y muy utilizada de extraer superficies de agua o clases de cobertura del suelo es utilizar índices multiespectrales (Petropoulos y Kalaitzidis, 2012). La tendencia de las curvas de reflectancia espectral de un objeto o superficie proporciona información útil en la derivación de índices multiespectrales. De hecho, los índices representan una combinación de dos o más bandas espectrales para las que una superficie adquiere características que la hacen distinguible de otras.

La firma espectral del agua "clara" (sólidos en suspensión <10 mg/l) alcanza su máximo en la banda de longitud de onda verde (0,50-0,56 μm) y disminuye al aumentar la longitud de onda, alcanzando una reflectancia cercana a cero en la región del infrarrojo cercano (NIR) (0,75-1,4 μm). El espectro de reflectancia del agua turbia presenta valores más altos que el agua moderadamente turbia en las regiones visible e infrarroja cercana y se aproxima a cero en longitudes de onda más largas (Malinowski et al., 2015; Cavallo, 2022b). Esto se debe a la concentración y tamaño de los solutos, sedimentos y materia orgánica, cuya presencia aumenta la reflexión en la banda del infrarrojo cercano. La respuesta espectral de la vegetación varía, como en el caso del agua, con la longitud de onda, y depende de múltiples factores, como el tipo de vegetación, la densidad, el estado de crecimiento y el contenido de humedad. En el visible, los valores de energía reflejados están correlacionados con la presencia de pigmentos, como la clorofila.

Para la fotosíntesis, la vegetación absorbe la radiación visible azul y roja y refleja la verde. En las longitudes del infrarrojo cercano (0,7-1,35 μm), la firma espectral está influida por la estructura de la hoja, mientras que en el infrarrojo de onda corta (1,35- 2,70 μm) por el contenido de agua. La vegetación sana tiende a mostrar una mayor reflectancia en las longitudes de onda del infrarrojo cercano (Bannari et al., 1995). En el caso de los suelos, del mismo modo, la reflectancia varía en función de su composición química y física. Los factores más importantes son el contenido de humedad, el contenido de sustancias orgánicas, la textura y la estructura (Ou et al., 2022). La reflectancia del suelo aumenta con la longitud de onda y disminuye proporcionalmente al contenido de humedad en correspondencia con los picos de absorción de agua (por ejemplo, 1,4, 1,9, 2,7 μm , véase la figura 22). Normalmente, el agua de humedales,

lagos y ríos contiene partículas sólidas y podría no parecer "clara". En general, en entornos como los lagos, la turbidez en las capas superficiales es baja, y el agua presenta en la mayoría de los casos una firma espectral similar a la del agua "clara" (sólidos en suspensión <10 mg/l). Mientras que en los ríos, debido al transporte de sólidos, la turbidez puede ser mayor, y la firma espectral puede parecer similar a la del agua turbia. Además, en el caso de aguas poco profundas, la firma espectral puede verse influida por el tipo y el color del material de fondo (por ejemplo, sedimentos o vegetación acuática).

A partir del análisis de las firmas espectrales, se derivaron los índices multiespectrales más comunes utilizados para extraer superficies de agua, vegetación y suelo desnudo. Por ejemplo, McFeeters (1996) propuso el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) derivado de las bandas verde y NIR.

$$NDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{NIR}}{\rho_{green} + \rho_{NIR}}$$

Posteriormente, Xu (2006) descubrió que la banda infrarroja de onda corta (SWIR) es capaz de reflejar algunas características sutiles del agua, por lo que sustituyó la banda infrarroja cercana (NIR) en el NDWI por la banda SWIR y propuso el MNDWI (Modify Normalised Difference Water Index).

$$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR}}$$

A partir de los espectros presentados en la Figura 22, puede afirmarse que las zonas cubiertas por aguas "claras" se caracterizarán por valores positivos de NDWI. Por el contrario, se espera que las superficies cubiertas por aguas turbias manifiesten valores casi nulos de NDWI. Por el contrario, tanto las aguas limpias como las turbias se caracterizarán por valores positivos de MNDWI.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, Curran, 1983) se desarrolló para detectar superficies con vegetación, pero también para extraer superficies de agua. Basándose en las características de reflectancia del agua (véase la Figura 22), los valores NDWI y MNDWI para el agua suelen ser superiores a cero, mientras que los valores NDVI son inferiores a cero.

$$\rho - \rho$$

$$NDVI = \frac{NIR - red}{\rho_{NIR} + \rho_{red}}$$

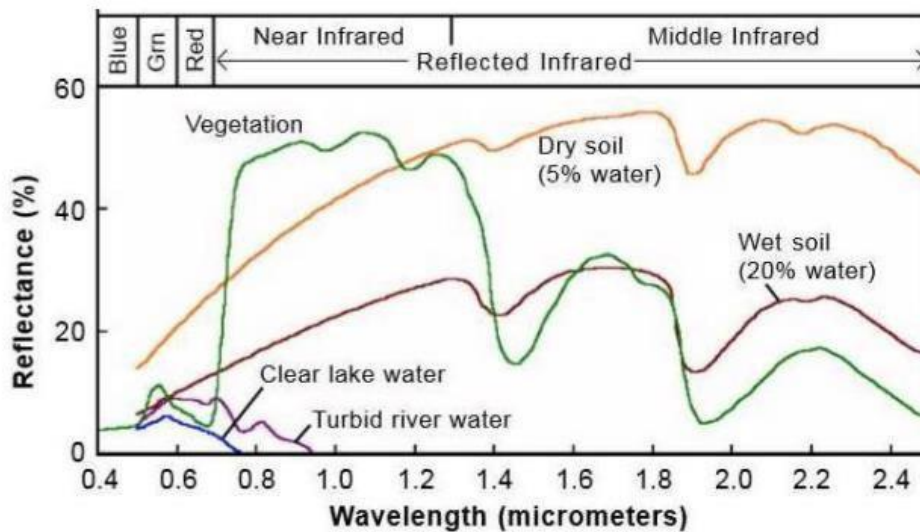


Figura 22. Reflectancia espectral del agua clara del lago (sólidos en suspensión <10 mg/l), agua turbia del río, vegetación, suelo seco y suelo húmedo, (fuente: Pft [ErM E x 100 - Meteorología Agrícola - Jardinería Progresiva]).

Varios autores han utilizado índices multispectrales y un método de umbral para extraer el canal húmedo de imágenes de satélite y estudiar las evoluciones morfológicas de los canales fluviales. Por ejemplo, Cavallo et al. (2021b) extrajeron el canal húmedo del río Po italiano a partir de conjuntos de datos Landsat-4/5, Landsat-8 y Sentinel2 utilizando un método de umbral basado en el índice MNDWI para analizar sus cambios morfológicos desde 1986 hasta 2021. Kryniecka y Magnuszewski (2021) explotaron un método de umbral basado en la Máscara de Agua Sentinel (SWM) y el Índice Automatizado de Extracción de Agua sin sombra ($AWEI_{nsh}$) para extraer superficies de agua de seis imágenes multispectrales Sentinel-2 para estudiar el movimiento alternativo de los bancos de arena en el río Vístula en Polonia. Jiang et al. (2014) desarrollaron un método automatizado de extracción de superficies de agua explotando cuatro índices de agua multispectrales (NDWI, MNDWI, $AWEI_{nsh}$ y Automated Water Extraction Index with shadow, $AWEI_{sh}$) para la cartografía de canales húmedos de seis ríos diferentes en el norte y noroeste de China.

Aunque la teledetección ha encontrado una amplia aplicación para la extracción de agua en ríos perennes, sólo recientemente algunos autores han comenzado a explorar el potencial de los datos satelitales en el seguimiento de la presencia de agua a lo largo de TRs. Por ejemplo, Seaton et al. (2020) examinaron la utilidad de varios índices multispectrales derivados de imágenes de satélite Sentinel-2 y Landsat-8 para identificar y cartografiar las superficies de agua a lo largo de tres TR situadas en el Cabo Occidental de Sudáfrica. Los autores observaron que el NDWI y el $AWEI_{nsh}$ de Wang et al. (2018) se prestan mejor para extraer la superficie de agua. Maswanganye

et al. (2022) exploraron el uso de datos de teledetección de múltiples fuentes para supervisar la distribución espacial de las charcas y la dinámica de las charcas a lo largo de tres TR. Los autores extrajeron superficies de agua utilizando tres índices multiespectrales, incluyendo NDWI, MNDWI y NDVI, y un método de clasificación supervisado de bosque aleatorio (RF) a partir de imágenes multiespectrales de Sentinel-2. El RF es un algoritmo de aprendizaje automático (machine learning) que se basa en el análisis de imágenes multiespectrales. El RF es un algoritmo de aprendizaje automático que utiliza un método no paramétrico para resolver problemas de clasificación y regresión. Se basa en el algoritmo de árboles de clasificación y regresión (CART) y supera sus inconvenientes empleando una multitud (un "bosque") de árboles de decisión para hacer predicciones potentes, menos propensas a problemas de sobreajuste. También extrajeron superficies de agua de los datos del SAR Sentinel-1 con un método de clasificación por umbrales. Los resultados de su trabajo sugieren que MNDWI y NDWI identificaron las charcas mejor que otros métodos en los dos ríos estudiados.

Estudios posteriores y más recientes explotaron conjuntos de datos satelitales para estimar la intermitencia del flujo de los TR. En particular, Wang y Vivoni (2022) desarrollaron un nuevo enfoque para establecer la presencia de flujo superficial en un TR de Arizona (EE.UU.) explotando las imágenes comerciales del CubeSat (Planet). Se propuso un índice, basado en la banda NIR, para determinar el estado del flujo en diferentes tramos del río Hassayampa a escala diaria durante tres años de observación. La evolución temporal de este índice mostró un alto grado de convergencia con los datos de caudal observado registrados por una estación de aforo ubicada en el tramo del río estudiado. Finalmente, Cavallo et al. (2022a) utilizaron imágenes multiespectrales Sentinel-2 para detectar y monitorizar cambios en la presencia de agua en la superficie a lo largo de tres TRs mediterráneas situadas en el sur de Italia. Mediante la evaluación de la firma de reflectancia de las cubiertas de agua, sedimentos y vegetación, y con la ayuda de datos de verdad sobre el terreno e imágenes de alta resolución, se puso de manifiesto que la imagen en falso color con las bandas SWIR, NIR y RED de Sentinel-2 permite distinguir claramente las superficies de agua de los demás componentes del corredor fluvial. Las imágenes compuestas en falso color permiten realizar una clasificación supervisada de los tramos fluviales estudiados en función de tres condiciones hidrológicas durante seis años de observación: "Flujo" (F), "Estanque" (P) y "Seco" (D). El conjunto de datos obtenido permitió entrenar modelos Random Forest (RF) calibrados localmente. Dichos modelos se utilizaron para resolver un problema de clasificación limando los desfases temporales entre las imágenes de satélite y prediciendo la ocurrencia de una de las tres condiciones hidrológicas (F/P/D) a escala diaria mediante el uso de datos meteo-hidrológicos locales.



Referencias

- Acuña, V., Datry, T., Marshall, J., Barceló, D., Dahm, C. N., Ginebreda, A., & Mcgregor, G. (2014). ¿Por qué debemos preocuparnos por las vías navegables temporales? *SCIENCE*, 343, 6-7.
- Allen, D. C., Datry, T., Boersma, K. S., Bogan, M. T., Boulton, A. J., Bruno, D., ... & Zimmer, M. (2020). River ecosystem conceptual models and non-perennials: una revisión crítica. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(5),
- Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. (1995). Una revisión de los índices de vegetación. *Remote sensing reviews*, 13(1-2), 95-120.
- Baki, A. B. M., & Gan, T. Y. (2012). Riverbank migration and island dynamics of the braided Jamuna River of the Ganges-Brahmaputra basin using multi-temporal Landsat images. *Quaternary International*, 263, 148-161.
- Bhamjee, R., & Lindsay, J. B. (2011). Ephemeral stream sensor design using state loggers. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3), 1009-1021.
- Brierley, G. J., & Fryirs, K. A. (2013). *Geomorfología y gestión fluvial: aplicaciones del marco de estilos fluviales*. John Wiley & Sons.
- Bonada, N., Zamora-Munoz, C., Rieradevall, M., & Prat, N. (2004). Ecological profiles of caddisfly larvae in Mediterranean streams: implications for bioassessment methods. *Environmental pollution*, 132(3), 509-521.
- Boulton, A. J. (2003). Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology*, 48(7), 1173-1185.
- Busch, M. H., Costigan, K. H., Fritz, K. M., Datry, T., Krabbenhoft, C. A., Hammond, J. C., Zimmer, M., Olden, J. D., Burrows, R. M., Dodds, W. K., Boersma, K. S., Shanafield, M., Kampf, S. K., Mims, M. C., Bogan, M. T., Ward, A. S., Rocha, M. P., Godsey, S., Allen, G. H., ... Allen, D. C. (2020). ¿Qué hay en un nombre? Patterns, trends, and suggestions for defining non-perennial rivers and streams. *Agua (Suiza)*, 12(7).
- Carbonneau, P. E., Belletti, B., Micotti, M., Lastoria, B., Casaioli, M., Mariani, S., ...

- & Bizzi, S. (2020). UAV-based training for fully fuzzy classification of Sentinel-2 fluvial scenes. *Earth surface processes and landforms*, 45(13), 3120-3140.
- Cavallo, C., Papa, M. N., Gargiulo, M., Palau-Salvador, G., Veza, P., & Ruello, G. (2021a). Seguimiento continuo de la dinámica de inundaciones en el humedal de Albufera (España) mediante los conjuntos de datos landsat-8 y sentinel-2. *Teledetección*, 13(17).
- Cavallo, C., Nones, M., Papa, M. N., Gargiulo, M., & Ruello, G. (2021b). Monitoring the morphological evolution of a reach of the Italian Po River using multispectral satellite imagery and stage data. *Geocarto International*, 37(25), 8579-8601.
- Cavallo, C., Papa, M. N., Negro, G., Gargiulo, M., Ruello, G., & Veza, P. (2022a). Exploiting Sentinel-2 dataset to assess flow intermittency in nonperennial rivers. *Scientific Reports*, 12(1), 21756.
- Cavallo, C. (2022b). Monitoreo de ambientes de agua dulce mediante datos satelitales. Tesis doctoral.
- Chapin, T. P., Todd, A. S., & Zeigler, M. P. (2014). Robust, low-cost data loggers for stream temperature, flow intermittency, and relative conductivity monitoring. *Water Resources Research*, 50(8), 6542-6548.
- Cid, N., Heino, J., Singer, G., Bonada, N., Sarremejane, R., Sandin, H. M. L., ... & Datry, T. (2021). De la teoría de los metasistemas a la gestión sostenible de los ríos en el Antropoceno.
- Cid, N., Verkaik, I., García-Roger, E. M., Rieradevall, M., Bonada, N., SánchezMontoya, M. D. M., ... & Prat, N. (2016). Una herramienta biológica para evaluar la conectividad de caudales en arroyos temporales de referencia de la cuenca mediterránea. *Science of the Total Environment*, 540, 178-190.
- Conrad, C. C., y Hilchey, K. G. (2011). A review of citizen science and communitybased environmental monitoring: issues and opportunities. *Vigilancia y evaluación medioambientales*, 176, 273-291.
- Costigan, K. H., Kennard, M. J., Leigh, C., Sauquet, E., Datry, T., & Boulton, A. J. (2017). Capítulo 2.2 - Regímenes de caudal en ríos intermitentes y arroyos efímeros. En T. Datry, N. Bonada, & A. Boulton (Eds.), *Intermittent Rivers and Ephemeral Streams* (pp. 51-78). Academic Press.

- Cottet, M., Robert, A., Tronchère-Cottet, H., & Datry, T. (2023). "¡Está seco, tiene menos encanto!": ¿Interactúan las percepciones y los valores de los ríos intermitentes con su gestión? *Environmental Science and Policy*, 139(noviembre de 2022), 139-148.
- Curran, P. J. (1983). Multispectral remote sensing for the estimation of green leaf area index. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Serie A, Ciencias Matemáticas y Físicas*, 309(1508), 257270.
- Datry, T., Corti, R., Claret, C., & Philippe, M. (2011). Flow intermittence controls leaf litter breakdown in a French temporary alluvial river: the "drying memory". *Aquatic Sciences*, 73, 471-483.
- Datry, T., Larned, S. T., & Tockner, K. (2014). Ríos intermitentes: Un reto para la ecología del agua dulce. *BioScience*, 64(3), 229-235.
- Datry, T., Allen, D., Argelich, R., Barquin, J., Bonada, N., Boulton, A., ... & Vinyoles, D. (2021). Asegurando la biodiversidad, la integridad funcional y los servicios ecosistémicos en redes fluviales secas (DRYvER). *Ideas y resultados de la investigación*, 7, e77750.
- Datry, T., Truchy, A., Olden, J. D., Busch, M. H., Stubbington, R., Dodds, W. K., Zipper, S., Yu, S., Messenger, M. L., Tonkin, J. D., Kaiser, K. E., Hammond, J. C., Moody, E. K., Burrows, R. M., Sarremejane, R., DelVecchia, A. G., Tenedor, M. L., Little, C. J., Walker, R. H., ... Allen, D. (2023). Causes, Responses, and Implications of Anthropogenic versus Natural Flow Intermittence in River Networks. *BioScience*, 73(1), 9-22.
- De Girolamo, A. M., Pappagallo, G., & Porto, A. L. (2015). Temporal variability of suspended sediment transport and rating curves in a Mediterranean river basin: El Celone (SE Italia). *Catena*, 128, 135-143.
- Döll, P., & Schmied, H. M. (2012). ¿Cómo se relaciona el impacto del cambio climático en los regímenes de caudal de los ríos con el impacto en la escorrentía media anual? A globalscale analysis. *Environmental Research Letters*, 7(1).
- Parlamento Europeo - Directiva Marco del Agua 2000/60/CE. (2000). DIRECTIVA MARCO DEL AGUA 2000/60/CE.
- Fritz, K. M., Feminella, J. W., Colson, C., Lockaby, B. G., Governo, R., & Rummer, R. B. (2006). Biomass and decay rates of roots and detritus in sediments of intermittent Coastal Plain streams. *Hydrobiologia*, 556, 265-277.

- Fritz, K., Cid, N., y Autrey, B. (2017). Gobernanza, legislación y protección de ríos intermitentes y arroyos efímeros. En *Ríos intermitentes y arroyos efímeros: Ecology and Management*. Elsevier Inc.
- García-Roger, E. M., del Mar Sánchez-Montoya, M., Gómez, R., Suárez, M. L., Vidal-Abarca, M. R., Latron, J., ... & Prat, N. (2011). Influyen los cambios estacionales en las características del hábitat en los ensamblajes de macroinvertebrados acuáticos en arroyos mediterráneos perennes frente a temporales? *Aquatic sciences*, 73, 567-579.
- Gao, S., Chen, M., Li, Z., Cook, S., Allen, D., Neeson, T., Yang, T., Yami, T., & Hong, Y. (2021). Mapping dynamic non-perennial stream networks using high-resolution distributed hydrologic simulation: A case study in the upper blue river basin. *Journal of Hydrology*, 600(Septiembre 2020), 126522.
- Gessner, M. O., & Chauvet, E. (2002). A case for using litter breakdown to assess functional stream integrity. *Aplicaciones ecológicas*, 12(2), 498-510.
- Gilvear, D., & Bryant, R. (2016). Análisis de datos de teledetección para la geomorfología fluvial y la ciencia fluvial. *Herramientas en geomorfología fluvial*, 103-132.
- Hassan, M.A., Egozi, R. (2001). Impact of wastewater discharge on the channel morphology of ephemeral streams. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- Huang, C., Chen, Y., Zhang, S., & Wu, J. (2018). Detección, extracción y monitoreo de agua superficial desde el espacio utilizando sensores ópticos: Una revisión. *Reviews of Geophysics*, 56(2), 333-360.
- Jiang, H., Feng, M., Zhu, Y., Lu, N., Huang, J. y Xiao, T. (2014). Un método automatizado para la extracción de ríos y lagos a partir de imágenes Landsat. *Teledetección*, 6(6), 5067-5089.
- Johnson, M. F., Hannah, C., Acton, L., Popovici, R., Karanth, K. K., & Weinthal, E. (2014). Network environmentalism: Ciudadanos científicos como agentes para la defensa del medio ambiente. *Global Environmental Change*, 29, 235-245.
- Kryniecka, K., & Magnuszewski, A. (2021). Application of satellite sentinel-2 images to study alternate sandbars movement at Lower Vistula River (Poland). *Teledetección*, 13(8), 1505.

- Legleiter, C. J., & Fonstad, M. A. (2012). An introduction to the physical basis for deriving river information by optical remote sensing. *Fluvial remote sensing for science and management*, 43-69.
- Llanos-Páez, O., & Acuña, V. (2022). Análisis de los impulsores socioecológicos del uso recreativo de arroyos y ríos temporales. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 807.
- Magand, C., Maria, H. A., Calleja, E., Datry, T., Dörflinger, G., England, J., Munne, A., & Iakovos, T. (2020). Ríos intermitentes y arroyos efímeros : Lo que deben saber los gestores del agua.
- Malinowski, R., Groom, G., Schwanghart, W., & Heckrath, G. (2015). Detección y delineación de inundaciones localizadas a partir de datos multiespectrales WorldView-2. *Teledetección*, 7(11), 14853-14875.
- Marshall, J. C., Acuña, V., Allen, D. C., Bonada, N., Boulton, A. J., Carlson, S. M., ... & Vander Vorste, R. (2018). Protegiendo las vías fluviales temporales de Estados Unidos. *Science*, 361(6405), 856-857.
- Maswanganye, S. E., Dube, T., Jovanovic, N., & Mazvimavi, D. (2022). Use of multi-source remotely sensed data in monitoring the spatial distribution of pools and pool dynamics along non-perennial rivers in semi-arid environments, South Africa. *Geocarto International*, 1-20.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Revista internacional de teledetección*, 17(7), 1425-1432.
- Messenger, M. L., Lehner, B., Cockburn, C., Lamouroux, N., Pella, H., Snelder, T., Tockner, K., Trautmann, T., Watt, C., & Datry, T. (2021). Global prevalence of non-perennial rivers and streams. *Nature*, 594(7863), 391-397.
- Munné, A., & Prat, N. (2009). Uso de índices multimétricos basados en macroinvertebrados para la evaluación de la calidad del agua en ríos mediterráneos españoles: una aproximación de intercalibración con el índice IBMWP. *Hydrobiologia*, 628, 203-225.
- Ou, D., Tan, K., Wang, X., Wu, Z., Li, J., & Ding, J. (2022). Modified soil scattering coefficients for organic matter inversion based on Kubelka-Munk theory. *Geoderma*, 418, 115845.

- Oueslati, O., De Girolamo, A. M., Abouabdillah, A., Kjeldsen, T. R., & Lo Porto, A. (2015). Clasificación de los regímenes de caudal de los arroyos mediterráneos mediante análisis multivariante. *Hydrological Processes*, 29(22), 4666-4682.
- Pastor, A. V., Tzoraki, O., Bruno, D., Kaletová, T., Mendoza-Lera, C., Alamanos, A., Brummer, M., Datry, T., De Girolamo, A. M., Jakubínský, J., Logar, I., Loures, L., Ilhéu, M., Koundouri, P., Nunes, J. P., Quintas-Soriano, C., Sykes, T., Truchy, A., Tsani, S., & Jorda-Capdevila, D. (2022). Repensando los indicadores de servicios ecosistémicos para su aplicación a ríos intermitentes. *Indicadores ecológicos*, 137(marzo).
- Petropoulos, G. P., & Kalaitzidis, C. (2012). Índices multiespectrales de vegetación en teledetección: una visión general. *Ecol. Model*, 2, 15-39.
- Piégay, H., Arnaud, F., Belletti, B., Bertrand, M., Bizzi, S., Carbonneau, P., ... & Slater, L. (2020). Remotely sensed rivers in the Anthropocene: State of the art and prospects. *Earth Surface Processes and Landforms*, 45(1), 157-188.
- Poff, N. L., & Zimmerman, J. K. H. (2010). Ecological responses to altered flow regimes: a literature review to inform the science and management of environmental flows. *Freshwater Biology*, 55(1), 194-205.
- Prat, N., Gallart, F., Von Schiller, D., Polesello, S., García-Roger, E. M., Latron, J., ... & Froebrich, J. (2014). La caja de herramientas de espejismo: una herramienta de evaluación integrada para arroyos temporales. *River research and applications*, 30(10), 13181334.
- Pumo, D., Caracciolo, D., Viola, F., & Noto, L. V. (2016). Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins. *Science of the Total Environment*, 542, 76-92.
- Sánchez-Montoya, M. M., Vidal-Abarca, M. R., Puntí, T., Poquet, J. M., Prat, N., Rieradevall, M., ... & Suárez, M. L. (2009). Definición de criterios para la selección de lugares de referencia en arroyos mediterráneos. *Hydrobiologia*, 619, 39-54.
- Sánchez-Montoya, M. M., Arce, M. I., Vidal-Abarca, M. R., Suárez, M. L., Prat, N., & Gómez, R. (2012). Establecimiento de las condiciones físico-químicas de referencia en arroyos mediterráneos según la Directiva Marco Europea del Agua. *Water Research*, 46(7), 2257-2269.

- Seaton, D., Dube, T., & Mazvimavi, D. (2020). Use of multi-temporal satellite data for monitoring pool surface areas occurring in non-perennial rivers in semi-arid environments of the Western Cape, South Africa. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167, 375-384.
- Shanafield, M., Bourke, S. A., Zimmer, M. A., & Costigan, K. H. (2021). An overview of the hydrology of non-perennial rivers and streams. Wiley
Reseñas interdisciplinarias: Agua, 8(2), 1-25.
- Skoulikidis, N. T., Sabater, S., Datry, T., Morais, M. M., Buffagni, A., Dör, G., Zogaris, S., Sánchez-montoya, M., Bonada, N., Kalogianni, E., Rosado, J., Vardakas, L., Maria, A., Girolamo, D., & Tockner, K. (2017). *Ciencia del Medio Ambiente Total Ríos mediterráneos no perennes en Europa : Estado , presiones y desafíos para la investigación y la gestión*. 577, 1-18.
- Steward, A. L., von Schiller, D., Tockner, K., Marshall, J. C., & Bunn, S. E. (2012). Cuando el río se seca: valores humanos y ecológicos de los cauces secos. *Fronteras de la Ecología y el Medio Ambiente*, 10(4), 202-209.
- Stoddard, J. L., Larsen, D. P., Hawkins, C. P., Johnson, R. K., & Norris, R. H. (2006). Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. *Ecological applications*, 16(4), 1267-1276.
- Talukdar, S., Singha, P., Mahato, S., Pal, S., Liou, Y. A., & Rahman, A. (2020). Landuse land-cover classification by machine learning classifiers for satellite observations-A review. *Remote Sensing*, 12(7), 1135.
- Wang, X., Xie, S., Zhang, X., Chen, C., Guo, H., Du, J., & Duan, Z. (2018). Un índice robusto de agua multibanda (MBWI) para la extracción automatizada de agua superficial a partir de imágenes Landsat 8 OLI. *Revista internacional de observación aplicada de la Tierra y geoinformación*, 68, 73-91.
- Thorp, J. H., Flotemersch, J. E., Delong, M. D., Casper, A. F., Thoms, M. C., Ballantyne, F., ... & Haase, C. S. (2010). Linking ecosystem services, rehabilitation, and river hydrogeomorphology. *BioScience*, 60(1), 67-74.
- Wang, Z., & Vivoni, E. R. (2022). Detecting Streamflow in Dryland Rivers Using CubeSats. *Geophysical Research Letters*, 49(15).

- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E., ... & Zhu, Z. (2019). Estado actual del programa Landsat, ciencia y aplicaciones. *Teledetección del medio ambiente*, 225, 127-147.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *Revista internacional de teledetección*, 27(14), 3025-3033.
- Ye, W., Bates, B. C., Viney, N. R., Sivapalan, M., & Jakeman, A. J. (1997). Performance of conceptual rainfall-runoff models in low-yielding ephemeral catchments. *Water Resources Research*, 33(1), 153-166.
- Zipper, S., Popescu, I., Compare, K., Zhang, C., & Seybold, E. C. (2022). Alternative stable states and hydrological regime shifts in a large intermittent river. *Environmental Research Letters*, 17(7).