

Estado actual de las actuaciones para el análisis y seguimiento de las distintas masas de agua en relación al ciclo integral del agua



CONVENIO ENTRE LA GENERALITAT A TRAVÉS DE LA CONSELLERIA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL Y LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA A RECURSOS HÍDRICOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA.

30 de noviembre de 2018

ÍNDICE

1. Grupos de investigación participantes	4
2. Resumen ejecutivo.....	5
3. Normativa	9
4. Tipos de masas de agua	13
5. Definición de estado, clasificación y condiciones de referencia	17
6. Metodologías para evaluar el estado de las distintas masas de agua.....	21
7. Tipos de programas de seguimiento: Nuevas aportaciones.....	31
8. Contribución al ciclo integral.....	42
9. Conclusiones y Recomendaciones	59
10. Bibliografía	

Índice de tablas y Figuras

Tabla 1. Tipos de masas de agua de la categoría lagos recogida en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

Tabla 2. Variables y rangos orientativos de las variables que definen la tipología de masas de agua de la categoría lagos (CEDEX 2008).

Tabla 3. Indicadores (métricas) para la determinación del estado ecológico, físico-químico e hidromorfológico de las masas de agua de la categoría ríos, según lo especificado en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

Tabla 4. Indicadores utilizados para los distintos tipos de río en el sistema de clasificación de estado vigente en España para los ríos, según lo especificado en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

Tabla 5. Ejemplo del sistema de clasificación de estado para los ríos del tipo R-T01, según lo especificado en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

Tabla 6. Volumen de agua registrados y distribuidos en 2014, últimos datos INE.

Tabla 7. Volumen de agua registrados y distribuidos en 2014 en función del uso, últimos datos INE.

Tabla 8. Consumo medio de agua de los hogares en 2014, últimos datos INE.

Figura 1. Tipos de masas de agua de la categoría “lagos” resultantes de la clasificación utilizando los parámetros reseñados en el sistema B de la Directiva Marco del Agua, y grandes tipos ecológicos que los agrupan.

Figura 2. Proceso iterativo de clasificación del estado ecológico de una masa de agua, según el anexo III del Real Decreto 817/2015.

Figura 3. Reglas de combinación de elementos de calidad en la clasificación del estado ecológico.

Figura 4. Aspectos que definen el programa de control de vigilancia de las masas de agua de acuerdo con RD817/2015 con texto consolidado de fecha 29/12/2016, extraída de UVEG, 2017.

Figura 5. Imagen con principales fuentes de variaciones en clorofila-a y turbidez e imagen con los emisarios dispuestos numerados del 1 al 10.

Figura 6. Parejas de imágenes de Sentinel-3 (300 m de resolución espacial) de clorofila y turbidez en la zona anteriormente mencionada que incluye los emisarios submarinos de la tabla 5 para las fechas que se indican

Figura 7. Ampliación de la observación de clorofila a sobre los emisarios 1, 2 y 3 que bordean la bocana del Puerto de Valencia. (ver Figura 5)

Figura 8. Ampliación de la observación de clorofila a sobre los emisarios 6, 7, 8, 9 y 10 (ver Figura 5).

Figura 9. Distribución espacial de los valores extremos del Índice TVDI (0,8-1,0) y frecuencia de la persistencia de estos valores en el periodo 2011-2013 en la Cuenca del Júcar.

Figura 10. Distribución espacial de las coberturas SIOSE en las zonas de mayor escasez de agua (TVDI > 0,8 y frecuencia de persistencia en estos valores superior al 50% de las imágenes utilizadas).

Figura 11. Cambios en los índices de vegetación diferencia normalizada (NDVI) para los años 1987 (Landsat 5), 1999 y 2009 (Landsat 7) y 2016 (Landsat 8), respectivamente. Las coloraciones rojas y naranjas indican un mayor valor de NDVI, el amarillo menor NDVI y las coloraciones azules, corresponden a zonas que no son cultivos de arroz o que no contienen vegetación.

Figura 12. Valores medios del índice de vegetación diferencia normalizada para todos los datos, para las parcelas del norte y para las parcelas del sur del PNA, para los años estudiados.

Figura 13. Flujos y almacenamientos (reservas) del ciclo integral del agua. Adaptada de Rutten (2013).

Figura 14. Coste unitario de agua en 2014, últimos datos INE.

Figura 15. Indicadores sobre aguas residuales depuradas por comunidades y ciudades autónomas. Unidades: m³/habitante/día en 2014, últimos datos INE.

Figura 16. Resalte de la vegetación mostrando el contraste entre la imagen de 1984 obtenida de Landsat 5TM (izquierda) y la imagen de 2017 obtenida de Landsat 8 (derecha).

Figura 17. Evolución de las zonas verdes del Municipio de Burjassot desde 1984 hasta 2017, obtenida mediante el procesado de imágenes del satélite Landsat

Figura 18. Clasificación supervisada de usos del suelo del Municipio de Burjassot (17 de diciembre de 2017), con una resolución espacial de 10 m, obtenida a partir de datos del satélite Sentinel-2 del Programa Copernicus de la Comisión Europea y la Agencia Europea del Espacio

1. Grupos de investigación participantes

Nombre del Grupo de Investigación	Departamento/ Área	Investigador Principal	Otros miembros del grupo	Contacto
Grupo de Suelos, Residuos y Medioambiente	Biología Vegetal	Rafael Boluda Hernández (CU)	Vicente Pons Martí (TU) M ^a Amparo Soriano Soto (CEU)	rafael.boluda@uv.es
Grupo de Limnología	Instituto Cavanilles de Biodiversidad y Biología Evolutiva	Antonio Camacho González (TU)	Antonio Picazo Mozo (ID), Carlos Rochera Cordellat (ID), Carolina Doña (ID), Javier Miralles Lorenzo (Investigador), Anna C. Santamans (Investigadora) Daniel Morant Garrigues (Investigador)	antonio.camacho@uv.es
Grupo de Miniaturización y Métodos Totales (MINTOTA)	Química Analítica	Pilar Campíns Falcó (CU)	Rosa Herráez Hernández (CU) Carmen Molins Legua (CU) Jorge Verdú Andrés (TU) Yolanda Moliner Martínez (TU)	pilar.campins@uv.es
Grupo de Economía del Agua (GEDEA)	Estructura Económica	Francesc Hernández Sancho (CU)	Agueda Bellver Domingo (Investigadora) Lledó Castellet Viciano (Investigadora) Vicent Hernández Chover (Investigador)	francesc.hernandez@uv.es
Grupo de Climatología desde Satélites	Física de la Tierra y Termodinámica	Ernesto López Baeza (TU)	Erika Albero Peralta (Personal Investigador Formación) Karina Erazo Ceballos (Estudiante máster)	ernesto.lopez@uv.es

2. Resumen ejecutivo

El Ministerio para la Transición Ecológica se ha planteado diseñar un Plan Nacional de Depuración, Saneamiento, Eficiencia, Ahorro y Reutilización con el objetivo de garantizar una gestión sostenible basada en el ciclo integral del agua y aportar transparencia a los escenarios de gestión, como consecuencia de los “deficientes y preocupantes” niveles de depuración de aguas residuales en nuestro país. En materia de gestión hidrológica, ha reiterado la **necesidad de avanzar el cumplimiento de la Directiva Marco de Agua (DMA)**.

El campo de la gestión del agua urbana se centra en la gestión de las reservas temporales y flujos de agua potable, residual, subterránea, de superficie y pluvial. Si alguno de estos compartimentos no se gestiona adecuadamente, las condiciones de vida pueden deteriorarse a niveles inaceptables. Una dificultad a la que se enfrentan los administradores de agua urbana es la falta limitada o total de control sobre algunos de los procesos, no es posible controlar la cantidad de precipitación que cae sobre un área, además los flujos de evaporación, transpiración, infiltración y escorrentía superficial dependen principalmente de la disponibilidad de agua (precipitación / humedad del suelo y su capacidad de retención) y las características de un área (uso del suelo, infraestructuras). ***La dificultad de establecer una política sostenible y resiliente en referencia al ciclo integral del agua es un hecho, sobre todo para aquellos países con escasez de agua. Las soluciones técnicas y de gestión planteadas han sido parciales y se han enfocado bajo áreas de conocimiento concretas. Ese modo de actuación ha generado una desestructuración de información, competencias, interlocutores, conocimiento científico-tecnológico, áreas de actuación, procedimientos de control y vigilancia, infraestructuras y gestión. A ello habría que añadir que **si bien la solución puede ser global, requiere de un estudio local de indicadores de impactos/ presiones y metodologías óptimas para la evaluación de los indicadores de estado y a partir de los resultados establecer la situación de las masas de agua y el impacto correspondiente y los procedimientos para su seguimiento [UVEG 2016, 2017]**.***

Se considera que la actividad humana ejerce una fuerza sobre los recursos naturales y los ecosistemas afectando a su calidad y productividad. Es necesario disponer de un marco adecuado para la evaluación y el seguimiento de las actuaciones a llevar a cabo para una buena gestión del agua con objeto de elaborar un protocolo racional y objetivo aplicable a las exigencias de la normativa actual. Las características del medio físico, interferencias con los procesos hidrológicos, indicadores de presión (actividad urbana, industrial, agrícola) e indicadores de estado (contaminación por sustancias peligrosas, vertidos, acumulación de nutrientes y perturbaciones debidas al uso de aguas residuales y/o regeneradas) son factores a considerar, además de un ***análisis medioambiental y socioeconómico de sus usos y del coste que supone una buena gestión del agua. Los programas de medidas por tanto deben contemplar estos aspectos.***

Además del control limitado, otros dos desafíos potenciales para el manejo satisfactorio del agua en áreas urbanas son la sequía y el cambio climático. Dado que se dispone de datos de Observación de la Tierra, colección masiva de datos espacio-temporales adquiridos desde plataformas espaciales y sensores en superficie, se plantea su uso sinérgico con datos procedentes de otras fuentes y comunidades. La

utilización de este dominio en la gestión de los recursos hídricos necesita todavía desarrollarse con más intensidad para poder establecer Sistemas de Ayuda a la Decisión eficaces en relación con el Ciclo Integral del Agua. Los datos y productos de teledetección permiten una cobertura continua y fiable, con diferentes resoluciones espaciales (entre 10 m y 1 km para resoluciones medias). Los datos y productos de teledetección que se plantea utilizar proceden de los Satélites Sentinel-1, -2 y -3 del Programa Copernicus (CE-ESA), del sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua de NASA, y de los satélites Landsat-5, -7 y -8.

En relación a los **procedimientos de vigilancia y control establecidos en la legislación** la bibliografía muestra protocolos no holísticos, generalmente focalizados a las distintas masas de agua [ver apartado normativa de esta memoria] y muy distintos en lo referente a toma de muestra (operador, automático, conservación, finalidad, adaptación, tipos de matrices, número de campañas, masas y puntos, entre otros), tipos de técnicas de medida (generales, específicas, de cribado, sostenibles, seguras, en función de sus figuras de mérito, coste-efectividad, entre otros) y ejecución de las mismas (in situ y laboratorio) lo que puede condicionar la calidad de los resultados obtenidos y por tanto los propios procedimientos y comprometer el cumplimiento de la legislación y por tanto el estado real de las aguas. **Es necesario un replanteamiento de los procedimientos para dar respuesta a la gestión holística y futura del agua. Planificar, hacer, verificar y actuar son acciones necesarias para conseguirlo.**

Por lo que se refiere al cumplimiento de la legislación en lo que respecta al ciclo integral del agua y medio natural comprometido, en primer lugar es necesario considerar la legislación aplicable, que cuenta con diversas fuentes en el cuerpo legislativo europeo, fundamentalmente la Directiva de calidad de aguas destinadas a consumo humano, la Directiva Marco del Agua, la de Depuración de Aguas, la Directiva sobre nitratos y la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina, Estas fuentes se trasponen parcialmente a la legislación española en diversos textos legislativos (ver apartado de normativa). **Tanto la legislación europea como la nacional aplicable a cada uno de los estados miembros, así como la de carácter regional, se han de catalogar de manera jerárquica, y estructurar para su integración en una herramienta de decisión.** Esto constituiría el marco normativo a cuyo cumplimiento deben tender todas las acciones gobernadas por el procedimiento de decisión que se quiera alcanzar (p.ej. el buen estado ecológico – biológico, químico e hidromorfológico- de las masas de agua tal como es requerido por la DMA). De manera adicional se han de catalogar las redes de control ambiental, por lo que se refiere a la calidad del agua y el estado ecológico de las masas de agua, establecidas en la Comunidad Valenciana.

La DMA define cuatro categorías de masas de agua superficiales, ríos, lagos, aguas de transición y costeras, cada una de ellas con una división por tipos ecológicos. Estas masas de agua deben alcanzar el buen estado, pero, en caso contrario, deben establecerse las medidas adecuadas que permitan que lo alcancen. No obstante, cuando existan determinados condicionantes por alteraciones de tipo hidromorfológico cuya subsanación podría suponer costes desproporcionados (económicos, medioambientales, etc.), una masa de agua superficial puede ser declarada como “Muy modificada”, en cuyo caso el objetivo no será el buen estado sino el buen potencial. Por otro lado, la DMA considera, de manera específica las masas de agua subterráneas. La consecución del buen

estado de las masas de agua es un elemento imprescindible para el buen funcionamiento del ciclo integral del agua.

Actualmente el seguimiento del estado de la calidad de las masas de agua, regulado por el Real Decreto 817/2015, se realiza dentro de los diversos programas de control, control de vigilancia, control operativo, y control de investigación, que a su vez tienen diversos subprogramas. La evaluación del estado de las masas de agua integra la del estado ecológico, evaluado mediante elementos de calidad biológicos y sus correspondientes indicadores, la del estado físico-químico y químico, y la del estado hidromorfofológico. Esta evaluación se realiza comparando, de forma jerarquizada, empezando con los biológicos, los valores de los indicadores medidos en cada masa de agua con las condiciones de referencia del tipo (dentro de cada categoría) al que pertenezca. Los programas de control son gestionados por los organismos de cuenca, y dicha evaluación permite la calificación del estado en aquellos que cumplen el objetivo marcado por la DMA (“Muy bueno” o “Bueno”), frente a los que suponen el incumplimiento y por tanto requieren la adopción de medidas (“Moderado”, “Deficiente” o “Malo”). Esta Directiva también establece que, por lo que se refiere a su dependencia del agua, la consecución de los objetivos específicos de las llamadas zonas protegidas (prepotables, baño, nitratos, zonas sensibles y Red Natura 2000), marcados por sus normativas específicas, debe ser considerada en la planificación hidrológica. ***Las exigencias de la DMA, así como las de las zonas protegidas, requieren una planificación adecuada de la evaluación del estado de las masas de agua y las zonas protegidas, y una ligazón a un programa de medidas que permitan la consecución de los objetivos marcados por la legislación, debiendo integrarse todo ello en la gestión del ciclo integral del agua.***

El Análisis Coste Beneficio (ACB) en el contexto del ciclo integral del agua se plantea para garantizar la viabilidad económica de cualquier inversión. Se trata de conseguir la racionalidad de las acciones al asegurar que los beneficios derivados serán mayores que los costes incurridos. En el enfoque del ACB no sólo se han de tener en cuenta los impactos internos, sino también las externalidades derivadas de la inversión realizada, es decir, se han de integrar los llamados costes internos, los ingresos internos y las externalidades negativas y positivas. En la estimación de los costes se pueden contemplar dos situaciones según si las instalaciones analizadas se encuentran actualmente en operación o se trata de inversiones nuevas. En este segundo caso, el objetivo del ACB es seleccionar la mejor alternativa desde el punto de vista económico considerando no sólo los costes de operación y mantenimiento sino también los de la propia inversión. Habitualmente no es sencilla la predicción de este tipo de costes y se plantea el uso de funciones de coste como una técnica de gran utilidad que permite relacionar las distintas tipologías de costes con aquellas variables más representativas del proceso evaluado. En el ámbito del ciclo integral del agua, estas funciones ofrecen también la posibilidad de comparar los costes de las diversas tecnologías disponibles para cada proceso. En el caso de los impactos externos o externalidades derivadas de las inversiones a realizar se requiere la cuantificación monetaria de aquellos efectos ambientales que no cuentan con una valoración por parte del mercado. Se propone la metodología de valoración de estas externalidades basada en el cálculo de los llamados precios sombra.

Además se tendría que considerar que ***en España las autoridades competentes para establecer e implementar los programas de seguimiento de los distintos ecosistemas acuáticos son distintas en función de las masas de agua, lo que necesita***

de procedimientos de coordinación para una gestión eficiente. Por ejemplo, para aguas costeras y de transición son las CCAA las competentes y es la Dirección General de Costas el órgano de la Administración General del Estado el encargado de coordinar y recopilar estos programas, mientras que la interlocución con la Unión Europea recae en la Dirección General del Agua. Por otra parte, ***La DMA establece un proceso de planificación y gestión para cada demarcación hidrográfica (DH).*** La caracterización de una DH, requerido por el artículo 5 de la DMA, es una importante primera parte de este proceso; para el análisis de las características de cada DH, se requiere, entre otros aspectos, un informe sobre el impacto de la actividad humana sobre el estado de las masas de agua dentro de cada cuenca hidrográfica. Es también el órgano de cuenca el responsable de establecer los mencionados programas para las aguas reutilizadas. ***Para una visión holística de estos programas de vigilancia será necesario conocer en primer lugar el órgano competente y los procedimientos de coordinación entre órganos, los distintos tipos de programas y subprogramas y en su caso datos conocidos de su aplicación, los indicadores de presión/impacto de la zona de estudio, las matrices implicadas, las estaciones, frecuencia y tipos de muestreo, los indicadores de calidad exigidos por la legislación, el estado de arte de las metodologías analíticas para poder evaluar los indicadores de estado a partir de procedimientos de coste-efectivo y sostenibles, entre otras consideraciones [UVEG, 2017].***



3. Normativa

- DIRECTIVA 91/271/CEE modificada por la Directiva 98/15/CE, define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas. Esta Directiva ha sido transpuesta a la normativa española por el R.D. Ley 11/1995, el R.D. 509/1996, que lo desarrolla, y el R.D. 2116/1998 que modifica el anterior.
- Directiva 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (DO L 375 de 31.12.1991, p. 1).
- DIRECTIVA 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.
- Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias
- DIRECTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Modificada por la Directiva 2008/105/CE de 16 de diciembre de 2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas (DNCA). La DNCA ha sido modificada por la Directiva 2013/39/UE de agosto de 2013.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. (Última revisión vigente desde 07 de Marzo de 2018).
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y el Control integrados de la contaminación
- DIRECTIVA 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.
- REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, inspirada en la prevalencia de la protección ambiental sobre la ordenación territorial y urbanística, incorpora el principio de precaución en las intervenciones que puedan afectar a espacios naturales y especies silvestres.
- DIRECTIVA 2008/56/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 17 de junio de 2008 por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino. La directiva marco sobre la estrategia marina, establece que los Estados miembros deben adoptar las medidas necesarias para lograr o mantener un buen estado medioambiental del medio marino a más tardar en el año 2020.
- Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de protección del medio marino.
- Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.
- Real Decreto 670/2013, de 6 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, en materia de registro de aguas y criterios de valoración de daños al dominio público hidráulico.
- Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de Costas.
- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.
- Optimizing water reuse in the EU. Final report - Part I Prepared for the European Commission - DG ENV. ISBN 978-92-79-46835-3 doi: 10.2779/603205 .© European Union, 2015.
- Resolución de 12 de diciembre de 2016, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente, por la que se formula declaración ambiental estratégica de la Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española.
- COMMON IMPLEMENTATION STRATEGY FOR THE WATER FRAMEWORK DIRECTIVE AND THE FLOODS DIRECTIVE. Guidelines on Integrating Water Reuse into Water Planning and Management in the context of the WFD. Document endorsed by EU Water Directors at their meeting in Amsterdam on 10th June 2016.
- Development of minimum quality requirements for water reuse in agricultural irrigation and aquifer recharge. CE 2017. This document has been established for information purposes only. It has not been adopted or in any way approved by the European Commission. This document is a living document and will be updated to

take account of experiences and information from the Member States, from MS competent authorities, and other stakeholders. ISBN 978-92-79-77175-0 ISSN 1831-9424 doi:10.2760/804116.

- Propuesta de DIRECTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano (versión refundida). Bruselas, 1.2.2018, COM(2017) 753 final.

La legislación general de aplicación en el ámbito de las aguas de consumo humano en España es la siguiente:

- Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de Noviembre de 1998.
- DIRECTIVA (UE) 2015/1787 DE LA COMISIÓN de 6 de octubre de 2015 por la que se modifican los anexos II y III de la Directiva 98/83/CE del Consejo, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.
- Real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Corrección de erratas del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero.
- Orden SCO/1591/2005, de 30 de mayo, de 30 de mayo, sobre el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo.(SINAC).
- ORDEN SCO/3719/2005, de 21 de noviembre, sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano.
- Orden SAS/1915/2009, de 8 de julio, sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano.
- Real Decreto 1798/2010, de 30 de diciembre, por el que se regula la explotación y comercialización de aguas minerales naturales y aguas de manantial envasadas para consumo humano.
- Orden SCO/778/2009, de 17 de marzo, sobre métodos alternativos para el análisis microbiológico del agua de consumo humano.
- Orden SSI/304/2013, de 19 de febrero, sobre sustancias para el tratamiento del agua destinada a la producción de agua de consumo humano.
- Directiva 2013/51/EURATOM del Consejo, de 22 de octubre, por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.
- Resolución de 27 de junio de 2008, por el que se aprueba el programa de vigilancia sanitaria del agua de consumo humano de la Comunidad Autónoma de Canarias.

- Real Decreto 12/2005, de 14 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 293/2003, de 7 de marzo, relativo a la utilización de determinados derivados epoxídicos en materiales y objetos destinados a entrar en contacto con alimentos.
- Resolución de 25 de mayo de 2009, por la que se procede a la publicación de los protocolos sanitarios existentes ante el incumplimiento de los valores paramétricos establecidos en el agua de consumo humano (fluoruro, boro, nitrato y nitrito, arsénico).
- Corrección de errores de la Orden SAS/1915/2009, de 8 de julio.
- Resolución 22 de Junio de 2010, por la que se hace público el protocolo sanitario de actuación ante el incumplimiento de los valores paramétricos establecidos para la actividad alfa total y actividad beta resto en agua de consumo humano.
- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 9/2008, de 11 de enero, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- Sección HS4 (Suministro de agua) del Código Técnico de la Edificación.
- Orden sobre el sistema de información de agua de consumo SINAC.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- Real Decreto 1138/1990, de 14 de septiembre, por el que se aprueba la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público.
- Orden de 11 de mayo de 1988 (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), sobre características básicas de calidad que deben ser mantenidas en las corrientes de agua superficiales cuando sean destinadas a la producción de agua potable.
- Orden de 8 de febrero de 1988 (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo), relativa a los métodos de medición y a la frecuencia de muestreos y análisis de aguas superficiales destinadas al consumo humano.
- Orden de 1 de julio de 1987 por la que se aprueban los métodos oficiales de análisis físico-químicos para aguas potables de consumo público.

4. Tipos de masas de agua

Por lo que se refiere a las aguas superficiales continentales y costeras, la Directiva Marco del Agua (DMA) define cuatro **categorías de masas de agua** naturales:

- «río»: una masa de agua continental que fluye en su mayor parte sobre la superficie del suelo, pero que puede fluir bajo tierra en parte de su curso;
- «lago»: una masa de agua continental superficial quieta;
- «aguas de transición»: masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce;
- «aguas costeras»: las aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición.

Para cada una de estas categorías de masa de agua se establece una **tipificación**, de manera que cada categoría incluye diversos tipos de masas de aguas, cuya clasificación se publicó en el BOE (2015) en el caso español. A modo de ejemplo, en la [Tabla 1](#) se incluye la tipificación de tipos de masas de agua de la categoría lagos recogida en el ordenamiento jurídico español.

En este ejemplo, referente a las masas de agua de la categoría lagos, la clasificación (CEDEX, 2008) se realizó conforme al sistema B recogido en la DMA (DOCE, 2000), que para este tipo de masas de agua diferencia los diferentes tipos en función de 9 parámetros, de la manera que se refleja en la [Tabla 2](#). Este sistema de clasificación basado en 9 parámetros da como resultado los 30 diferentes tipos reseñados en la [Tabla 2](#) que corresponden a masas de agua realmente existentes en España, las cuales corresponden a los diferentes tipos ecológicos presentes, pudiéndose incluso agrupar en grandes tipos ecológicos (Simón et al., 2012; Camacho et al., 2013a) como los que se muestran en la [Figura 1](#).

TIPOS DE LAGOS

L-T01	Alta montaña septentrional, profundo, aguas ácidas
L-T02	Alta montaña septentrional, profundo, aguas alcalinas
L-T03	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas ácidas
L-T04	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas alcalinas
L-T05	Alta montaña septentrional, temporal
L-T06	Media montaña, profundo, aguas ácidas
L-T07	Media montaña, profundo, aguas alcalinas
L-T08	Media montaña, poco profundo, aguas alcalinas
L-T09	Alta montaña meridional
L-T10	Cárstico, calcáreo, permanente, hipogénico
L-T11	Cárstico, calcáreo, permanente, surgencia
L-T12	Cárstico, calcáreo, permanente, cierre travertínico
L-T13	Cárstico, calcáreo, temporal
L-T14	Cárstico, evaporitas, hipogénico o mixto, grande
L-T15	Cárstico, evaporitas, hipogénico o mixto, pequeño
L-T16	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja permanente
L-T17	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja temporal
L-T18	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización media permanente
L-T19	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización media, temporal
L-T20	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización alta o muy alta, permanente
L-T21	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización alta o muy alta, temporal
L-T22	Interior en cuenca de sedimentación, hipersalino, permanente
L-T23	Interior en cuenca de sedimentación, hipersalino, temporal
L-T24	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización baja o media
L-T25	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización alta o muy alta
L-T26	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo meandro abandonado
L-T27	Interior en cuenca de sedimentación, asociado a turberas alcalinas
L-T28	Lagunas litorales sin influencia marina
L-T29	Litoral en complejo dunar, permanente
L-T30	Litoral en complejo dunar, temporal

Tabla 1. Tipos de masas de agua de la categoría lagos recogida en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

Núm	Índice humedad ¹	Altitud ² (m)	Origen ³	Régimen de aportación ⁴	Hidroperiodo ⁵	Tamaño ⁶ (ha)	Profundidad ⁷ (m)	Conductividad ⁸ (µS/cm)	Alcalinidad ⁹ (meq/L)
1	>2	>1.500	Glaciar	Epigénico	Permanente	<50	>10	<500	<0,2
2	>2	>1.500	Glaciar o glacio-karst	Mixto	Permanente	<50	>10	<500	>0,2
3	>2	>1.500	Glaciar	Epigénico	Permanente	<50	<10	<500	<0,2
4	>2	>1.500	Glaciar o glacio-karst	Mixto	Permanente	<50	<10	<500	>0,2
5	>2	>1.500	Glaciar	Epigénico	Temporal	<50	<3	<500	>0,2
6	>2	900-1.500	Glaciar	Epigénico	Permanente	>50	>10	<500	<0,2
7	>2	1.000-1.500	Glaciar o glacio-karst	Mixto	Permanente	<50	>10	<500	>0,2
8	>2	1.000-1.500	Glaciar o glacio-karst	Mixto	Permanente	<50	<10	<500	>0,2
9	<2	>2.000	Glaciar	Epigénico	Permanente	<50	>3	<500	<1
10	<2	15-1.500	Cárstico-calcáreo	Hipogénico	Permanente	<50	>3	<3.000	>1
11	<2	5-1.500	Cárstico-calcáreo Surgencia	Hipogénico	Permanente	<50	<3	500-3.000	>1
12	<2	15-1.500	Cárstico-calcáreo Cierre travertínico	Mixto	Permanente	Cualquiera	>3	<3.000	>1
13	<2	15-1.500	Cárstico-calcáreo	Hipogénico	Temporal	<50	>3	<3.000	>1
14	<2	15-1.500	Cárstico-evaporitas	Hipogénico o mixto	Permanente	>50	>3	500-3.000	>1
15	<2	15-1.500	Cárstico-evaporitas	Hipogénico o mixto	Permanente	<50	>3	500-50.000	>1
16	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Permanente	Cualquiera	<5	<500	Cualquiera
17	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Temporal	Cualquiera	<3	<500	Cualquiera
18	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Permanente	Cualquiera	<3	500-3.000	>1
19	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Temporal	Cualquiera	<3	500-3.000	>1
20	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Permanente	Cualquiera	<3	3.000-50.000	>1
21	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Temporal	Cualquiera	<3	3.000-50.000	>1
22	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Permanente	Cualquiera	<6	>50.000	>1
23	<2	15-1.500	Procesos genéticos diversos	Mixto	Temporal	Cualquiera	<3	>50.000	>1
24	<2	5-1.500	Fluvial. Tipo llanura de inundación	Mixto	Cualquiera	Cualquiera	<3	<3.000	>1
25	<2	5-1.500	Fluvial. Tipo llanura de inundación	Mixto	Cualquiera	Cualquiera	<3	3.000-50.000	>1
26	<2	5-1.500	Fluvial. Tipo meandro abandonado	Mixto	Cualquiera	Cualquiera	<10	500-3.000	>1
27	<2	15-1.500	Asociado a turberas alcalinas	Hipogénico	Permanente	<50	<3	3.000-50.000	>1
28	<2	<15	Marjales y lagunas litorales sin influencia marina	Mixto	Permanente	Cualquiera	<3	500-50.000	>1

Tabla 2. Variables y rangos orientativos de las variables que definen la tipología de masas de agua de la categoría lagos (CEDEX 2008)

Núm.	Denominación	
1	Alta montaña septentrional, profundo, aguas ácidas	
2	Alta montaña septentrional, profundo, aguas alcalinas	
3	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas ácidas	
4	Alta montaña septentrional, poco profundo, aguas alcalinas	
5	Alta montaña septentrional, temporal	
6	Media montaña, profundo, aguas ácidas	
7	Media montaña, profundo, aguas alcalinas	
8	Media montaña, poco profundo, aguas alcalinas	
9	Alta montaña meridional	
10	Carstico, calcáreo, permanente, hipogénico	
11	Cárstico, calcáreo, permanente, surgencia	
12	Cárstico, calcáreo, permanente, cierre travertino	
13	Cárstico, calcáreo, temporal	
14	Cárstico, evaporitas, hipogénico o mixto, grande	
15	Cárstico, evaporitas, hipogénico o mixto, pequeño	
16	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja, permanente	
17	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización baja, temporal	
18	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización media, permanente	
19	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización media, temporal	
20	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización alta o muy alta, permanente	
21	Interior en cuenca de sedimentación, mineralización alta o muy alta, temporal	
22	Interior en cuenca de sedimentación, hipersalino, permanente	
23	Interior en cuenca de sedimentación, hipersalino, temporal	
24	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización baja o media	
25	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo llanura de inundación, mineralización alta o muy alta	
26	Interior en cuenca de sedimentación, de origen fluvial, tipo meandro abandonado	
27	Interior en cuenca de sedimentación, asociado a turberas alcalinas	
28	Lagunas litorales sin influencia marina	
29	Litoral en complejo dunar, permanente	
30	Litoral en complejo dunar, temporal	

TIPOLOGIA DE LAGOS - DMA

Figura 1. Tipos de masas de agua de la categoría “lagos” resultantes de la clasificación utilizando los parámetros reseñados en el sistema B de la Directiva Marco del Agua, y grandes tipos ecológicos que los agrupan.

Además de las aguas superficiales naturales, a las que posteriormente se hace referencia en cuanto a la utilización de métricas para la determinación de su estado, la DMA define también la “masa de agua artificial” como una masa de agua superficial creada por la actividad humana; y la «masa de agua muy modificada» como una masa de agua superficial que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, ha experimentado un cambio sustancial en su naturaleza, designada como tal por el Estado miembro con arreglo a lo dispuesto en el anexo II de la DMA. De manera adicional a las masas de agua superficiales, la DMA define las «aguas subterráneas» como todas las aguas que se encuentran bajo la superficie del suelo en la zona de saturación y en contacto directo con el suelo o el subsuelo. **La DMA en su artículo 8 y Anexo V, obliga a los estados miembros a establecer programas de control y seguimiento.**

Las masas de agua superficiales pueden clasificarse como artificiales o muy modificadas cuando se cumpla alguno de los siguientes criterios (MITECO, 2018):

- Los cambios de las características hidromorfológicas de dicha masa que sean necesarios para alcanzar el buen estado ecológico impliquen considerables repercusiones negativas en el entorno en sentido amplio, la navegación, instalaciones portuarias o

actividades recreativas, suministro de agua potable, producción de energía o riego, regulación del agua, protección contra inundaciones, drenaje de terrenos u otras actividades de desarrollo humano sostenible igualmente importantes.

- Los beneficios derivados de las características artificiales o modificadas de la masa de agua no puedan alcanzarse razonablemente, debido a las posibilidades técnicas o a costes desproporcionados, por otros medios que constituyan una opción medioambientalmente mejor.

En España las autoridades competentes para establecer e implementar estos programas son distintas en función de las masas de agua, lo que necesita de procedimientos de coordinación para una gestión eficiente. Por ejemplo, para aguas costeras y de transición son las CCAA las competentes y es la Dirección General de Costas el órgano de la Administración General del Estado (integrado en el MAPAMA) el encargado de coordinar y recopilar estos programas, mientras que la interlocución con la Unión Europea recae en la Dirección General del Agua. Por otra parte, La DMA establece un proceso de planificación y gestión para cada **demarcación hidrográfica** (DH). La caracterización de una DH, requerido por el artículo 5 de la DMA, es una importante primera parte de este proceso; para el análisis de las características de cada DH, se requiere, entre otros aspectos, un informe sobre el impacto de la actividad humana sobre el estado de las masas de agua dentro de cada cuenca hidrográfica. Es también el órgano de cuenca el responsable de establecer los mencionados programas para las aguas reutilizadas. ***Para una visión holística de estos programas de vigilancia será necesario conocer en primer lugar el órgano competente y los procedimientos de coordinación entre órganos, los distintos tipos de programas y subprogramas y en su caso datos conocidos de su aplicación, los indicadores de presión/impacto de la zona de estudio, las matrices implicadas, las estaciones, frecuencia y tipos de muestreo, los indicadores de calidad exigidos por la legislación, el estado de arte de las metodologías para poder evaluar los indicadores de estado a partir de procedimientos de coste-efectivo y sostenibles, entre otras consideraciones. El seguimiento y la evaluación son pasos esenciales en la gestión ambiental del agua.***

5. Definición de estado, clasificación y condiciones de referencia

Los conceptos fundamentales relacionados con los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental se explicitan en el Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015). Así, en él se define el “Estado de las aguas superficiales” como “la expresión general del estado de una masa de agua superficial determinado por el peor valor de su estado ecológico y de su estado químico”, siendo el “estado ecológico una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales” y el “estado químico una expresión de la calidad de las aguas superficiales que refleja el grado de cumplimiento de las NCA de las sustancias prioritarias y otros contaminantes del anexo IV de este real decreto.” Por “norma de calidad ambiental (NCA)” se refiere a la “concentración de un determinado contaminante o grupo de contaminantes en el agua, los sedimentos o la biota, que no debe superarse en aras de la protección de la salud humana y el medio ambiente. Este umbral puede expresarse como Concentración Máxima Admisible (NCA-CMA) o como Media Anual (NCA-MA)”

Según la DMA (DOCE, 2000), las masas de agua superficiales de la Unión Europea deben alcanzar el “Buen estado ecológico” y el “Buen estado químico. Estos conceptos se recogen también en el Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015), que define el buen estado ecológico como el “estado de una masa de agua superficial en la que los valores de los indicadores de los elementos de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial muestran valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, desviándose ligeramente de los valores normalmente asociados con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas. Los indicadores hidromorfológicos son coherentes con la consecución de dichos valores y los indicadores químicos y fisicoquímicos cumplen con los rangos o límites que garantizan el funcionamiento del ecosistema específico del tipo y la consecución de los valores de los indicadores biológicos. Las concentraciones de los contaminantes específicos cumplen las NCA pertinentes”. Así mismo, define el buen estado químico de las aguas superficiales como “el estado de una masa de agua superficial que cumple las NCA establecidas en el anexo IV (de dicho Real Decreto), así como otras normas comunitarias pertinentes que fijen NCA”. Igualmente, señala que “la clasificación del estado químico de una masa de agua se evalúa mediante el análisis de conformidad de la concentración de las sustancias prioritarias y otros contaminantes con las NCA recogidas en el anexo IV” del Real Decreto 817/2015 (BOE; 2015), atendiendo a los criterios recogidos en mismo.

El estado de las aguas superficiales es “la expresión general del estado de una masa de agua superficial determinado por el peor valor de su estado ecológico y de su estado químico”. El estado de cada masa de agua se compara, para cada indicador (“medida de un elemento de calidad que permite evaluar la calidad y el estado de las aguas”), con la denominada “condición de referencia”, definida como “el valor del indicador correspondiente a niveles de presión antropogénicas nulas o muy bajas”, para determinar el nivel del estado en el que se encuentra dicha masa. Dicho estado se evalúa mediante los denominados “elementos de calidad”, entendido como un “componente del ecosistema acuático cuya medida determina el estado de las aguas, se agrupan en elementos biológicos, hidromorfológicos, químicos y fisicoquímicos”. Cada uno de esos grupos de elementos de calidad se subdivide así mismo en otros elementos de calidad, cada uno de los cuales se determina mediante indicadores. Por ejemplo, las masas de agua de tipo “lagos” cuentan con cuatro tipo indicadores: Fitoplancton, Otra flora acuática,

Invertebrados bentónicos y Fauna piscícola. Siguiendo con el ejemplo, el primero, fitoplancton, presenta tres tipos de indicadores, su “abundancia”, su “composición”, y la “ocurrencia de floraciones masivas (blooms)”. Abundando en el ejemplo, y ya a una escala inferior, según lo estipulado en el Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015), la “abundancia” se puede determinar mediante dos parámetros (generalmente denominados “métricas” en su traducción literal del inglés), la “concentración de clorofila-a” y el “biovolumen del fitoplancton”. Este esquema jerárquico que va desde elementos de calidad hasta métricas se aplica también, con las especificidades correspondientes, al resto de elementos de calidad, que se aplican en el seguimiento de los distintos tipos de masas de agua.

El valor de los parámetros (métricas) que miden cada uno de esos elementos de calidad determinado para cada masa de agua, se compara con la condición de referencia específica del tipo de masa de agua, concretamente con el subtipo a que corresponda dentro de las subclasificaciones de cada uno de los cuatro tipos principales de masas de agua, situándose en alguna de las cinco clases de estado posibles, cuyos umbrales se determinan por procedimientos estadísticos en comparación con la condición de referencia propia del tipo ecológico para dicho parámetro (CEDEX, 2010). Las condiciones de referencia de cada tipo de masa de agua son con las que se compara el valor obtenido para el parámetro (métrica) para calcular el “ratio de calidad ecológica” (RCE), un valor comprendido entre 0 y 1 en cuyo rango se establecen los umbrales de cambio de clase de estado. Cada uno de estos parámetros debe ser capaz de evaluar los efectos (impactos) de las presiones que la masa de agua sea capaz de experimentar, así, en el ejemplo del anterior apartado, la métricas correspondientes al elemento de calidad “Fitoplancton” son susceptibles de cuantificar los impactos producidos por las presiones de eutrofización. **La clasificación del estado o potencial ecológico se realiza con los resultados obtenidos para los indicadores correspondientes a los elementos de calidad biológicos, químicos y fisicoquímicos, e hidromorfológicos y vendrá determinado por el elemento de calidad cuyo resultado final sea el más desfavorable.** Cada elemento de calidad permite clasificar el estado o potencial ecológico en las clases siguientes:

- Muy bueno, bueno, moderado, deficiente y malo, aplicando los elementos de calidad biológicos.
- Muy bueno, bueno y moderado, aplicando los elementos de calidad químicos y fisicoquímicos.
- Muy bueno y bueno, aplicando los elementos de calidad hidromorfológicos.

El proceso de evaluación del estado se realiza de manera jerarquizada, mediante un proceso iterativo (Figura 2), de modo que primero se evalúan los elementos de calidad biológico, cuyo resultado puede ser matizado por los químicos y físico-químicos y, posteriormente, por los hidromorfológicos, pero siempre a la baja si fuera el caso de que cualquiera de ellos supondría un estado peor que el determinado tras utilizar el orden jerárquico anterior, de manera que un estado inferior determinado por un elemento de calidad jerárquicamente superior no puede ser mejorado por un elemento jerárquicamente inferior. Según el Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015), “Inicialmente se calcula el grado de desviación entre los valores de los indicadores de calidad biológicos observados con los valores de las condiciones de referencia recogidos en el anexo II. Cuando estos indicadores correspondan a presiones diferentes o resulten evaluaciones distintas se adoptará el valor más restrictivo. Cuando se disponga de valores de varios indicadores aplicables del mismo elemento de calidad y sensibles a la misma presión o a un gradiente de presión general, se deberán combinar los resultados de los indicadores para obtener un único valor de estado del elemento de calidad biológica en cuestión. Cuando los indicadores correspondan a presiones diferentes se adoptará el valor más restrictivo a efectos de clasificación del estado ecológico.”

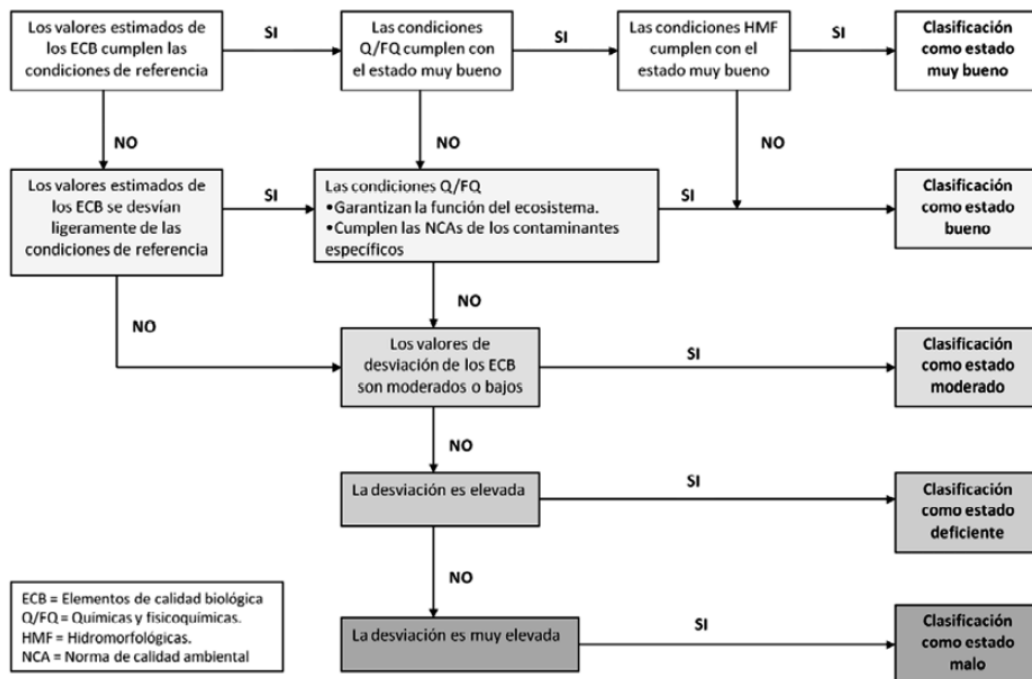


Figura 2. Proceso iterativo de clasificación del estado ecológico de una masa de agua, según el anexo III del Real Decreto 817/2015.

La Figura 3 muestra esquemáticamente las posibles combinaciones entre los diferentes tipos de elementos de calidad. Cualquier combinación que dé como resultado un estado ecológico “Muy Bueno” (MB) o “Bueno” (B) supone el cumplimiento de los objetivos marcados por la DMA para la masa de agua, mientras que cualquier valor inferior, “moderado” (MOD), “deficiente” (DEF) o “malo” (MA) supone que la masa de agua incumple dicho objetivo. En su caso, los motivos de ese incumplimiento deben ser investigados en el programa de control de investigación, y una vez determinadas las causas de ese incumplimiento su subsanación debe ser incluida en el programa de medidas.

EC BIOLÓGICOS	EC FQ	EC HMF	ESTADO FINAL
MB	MB	MB	MB
	MB/B	B	B
	MOD	MB/B	MOD
B	MB/B	MB/B	B
	MOD	--	MOD
MOD	MB/B	--	MOD
	MOD	--	MOD
DEF	MB/B/MOD	--	DEF
MA	MB/B/MOD	--	MA

Figura 3. Reglas de combinación de elementos de calidad en la clasificación del estado ecológico.

En las masas de agua muy modificadas no se evalúa el “estado ecológico” sino el “potencial ecológico”, que es “una expresión de la calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a una masa de agua artificial o muy modificada. **Las masas muy modificadas no deberán alcanzar el “buen estado ecológico” sino el “buen potencial ecológico”**, entendido éste como las mejores condiciones ecológicas posibles que son compatibles con la alteración hidromorfológica que ha llevado a la masa de agua a ser declarada como muy modificada. Concretamente, el Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015) define el “buen potencial ecológico” como el “estado de una masa de agua muy modificada o artificial cuyos indicadores de los elementos de calidad biológicos muestran leves cambios en comparación con los valores correspondientes al tipo de masa más estrechamente comparable. Los indicadores hidromorfológicos son coherentes con la consecución de dichos valores y los indicadores químicos y fisicoquímicos se encuentran dentro de los rangos de valores que garantizan el funcionamiento del ecosistema y la consecución de los valores de los indicadores biológicos especificados anteriormente. Además las concentraciones de los contaminantes específicos cumplen las NCA pertinentes”. En contraste con el “buen estado ecológico” de las masas de agua naturales, que expresa un estado sano, en todos los sentidos, de la masa de agua, **el “buen potencial ecológico” representa un estado degradado de las características de la masa de agua muy modificada en comparación con el tipo (subtipo) de masa natural a la que se compara, pero el mejor estado posible dadas las alteraciones que hacen considerar a esa masa como muy modificada.**

6. Metodologías para evaluar el estado de las distintas masas de agua

El conocimiento de los factores que determinan la presión sobre el medioambiente y la información sobre su distribución espacial, pueden permitir el seguimiento de la zona y controlar y predecir los impactos que ejerce una determinada actividad para llegar a establecer un modelo predictivo y conocer las variables que intervienen para realizar adecuadamente la mencionada actividad. Dicho modelo puede conducir también a hacer conjeturas acerca de la influencia de las aglomeraciones (Directiva 91/271/CEE), así como aspectos que relacionan demografía y las limitaciones que el propio espacio ofrece para alcanzar el punto de equilibrio y la sostenibilidad de un proceso de origen antrópico. El medio acuático incluye los distintos tipos de ecosistemas naturales y artificiales en los que el agua es el medio dominante y determina las características ambientales a las que se ven expuestos los seres vivos que los habitan. Pero además del **agua**, medio fundamental en estos ecosistemas, la propia **biota**, junto con los **sedimentos** depositados en los lechos de los ecosistemas acuáticos, son matrices que se ven expuestas a las alteraciones de las condiciones propias de estos sistemas y que son, por tanto, susceptibles de ser utilizadas en la detección de dichas alteraciones, pudiendo sufrir también modificaciones de sus características propias, por ejemplo la acumulación de contaminantes en cada uno de estos elementos (APHA-AWWA-WEF, 2005). Agua, biota y sedimentos son, por tanto, las **principales matrices** de los sistemas acuáticos y con ello las matrices principales a analizar por lo que se refiere a la detección de las alteraciones que pueda sufrir el medio acuático [UVEG, 2017].

De acuerdo con la DMA, los programas de medidas deben contemplar programas de seguimiento y, en concreto, los siguientes aspectos: análisis de los rasgos o características de las aguas, presiones e impactos a que están sometidas y un análisis medioambiental y socioeconómico de sus usos y del coste que supone una buena gestión del agua. Se considera que la actividad humana ejerce una fuerza sobre los recursos naturales y los ecosistemas afectando a su calidad y productividad. Para cada área de estudio seleccionada, se deberían analizar los vínculos entre la presión o amenazas que las actividades humanas ejercen sobre el medioambiente y los cambios de la calidad de los recursos naturales debido a dicha presión. ***Las características del medio físico, interferencias con los procesos hidrológicos, indicadores de presión (actividad urbana, industrial, agrícola) e indicadores de estado (contaminación por sustancias peligrosas, vertidos, acumulación de nutrientes y perturbaciones debidas al uso de aguas residuales y/o regeneradas) son factores a considerar.***

La transposición de la Directiva Marco del Agua al Real Decreto 817/2015 (BOE, 2015), en sus artículos 10 al 13, determina los elementos de calidad que se deben utilizar en los distintos tipos de programas de seguimiento para la clasificación del estado o potencial ecológico. Literalmente, éstos son los siguientes:

Masas de agua de la categoría ríos (Artículo 10)

1. Elementos de calidad biológicos:

- a) Composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados.
- b) Composición y abundancia de flora acuática.
- c) Composición, abundancia y estructura de edades de fauna ictiológica.

2. Elementos de calidad químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Generales: condiciones térmicas y de oxigenación, salinidad, estado de acidificación y nutrientes.
- b) Contaminantes específicos vertidos en cantidades significativas.

3. Elementos de calidad hidromorfológicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Régimen hidrológico: caudales e hidrodinámica del flujo de las aguas y conexión con masas de agua subterránea.
- b) Continuidad del río.
- c) Condiciones morfológicas: variación de la profundidad y anchura del río, estructura y sustrato del lecho del río y estructura de la zona ribereña.

4. Los indicadores correspondientes a los elementos de calidad biológicos, químicos y fisicoquímicos e hidromorfológicos de soporte aplicables a cada tipo de masa de agua se definen en el anexo II. Los contaminantes específicos quedan definidos en los anexos V y VI.

Masas de agua de la categoría lagos (artículo 11)

1. Elementos de calidad biológicos:

- a) Composición, abundancia y biomasa del fitoplancton.
- b) Composición y abundancia de otro tipo de flora acuática.
- c) Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados.
- d) Composición, abundancia y estructura de edades de la fauna ictiológica.

2. Elementos de calidad químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Generales: transparencia, condiciones térmicas y de oxigenación, salinidad, estado de acidificación y nutrientes.
- b) Contaminantes específicos vertidos en cantidades significativas.

3. Elementos de calidad hidromorfológicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Régimen hidrológico: volúmenes e hidrodinámica del lago, tiempo de permanencia y conexión con masas de agua subterránea.
- b) Condiciones morfológicas: variación de la profundidad del lago; cantidad, estructura y sustrato del lecho del lago y estructura de la zona ribereña.

4. Los indicadores correspondientes a los elementos de calidad biológicos, químicos y fisicoquímicos e hidromorfológicos de soporte aplicables a cada tipo de masa de agua se definen en el anexo II. Los contaminantes específicos quedan definidos en los anexos V y VI.

Masas de agua de la categoría aguas de transición (artículo 12)

1. Elementos de calidad biológicos:

- a) Composición, abundancia y biomasa del fitoplancton.
- b) Composición y abundancia de otro tipo de flora acuática.
- c) Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados.
- d) Composición y abundancia de la fauna ictiológica.

2. Elementos de calidad químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Generales: transparencia, condiciones térmicas y de oxigenación, salinidad y nutrientes.
- b) Contaminantes específicos vertidos en cantidades significativas.

3. Elementos de calidad hidromorfológicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Condiciones morfológicas: variación de la profundidad; cantidad, estructura y sustrato del lecho y estructura de la zona de oscilación de la marea.
- b) Régimen de mareas: flujo de agua dulce y exposición al oleaje.

4. Los indicadores correspondientes a los elementos de calidad biológicos, químicos y fisicoquímicos e hidromorfológicos de soporte aplicables a cada tipo de masa de agua se definen en el anexo II. Los contaminantes específicos quedan definidos en los anexos V y VI.

Masas de agua de la categoría aguas costeras (artículo 13)

1. Elementos de calidad biológicos:

- a) Composición, abundancia y biomasa del fitoplancton.
- b) Composición y abundancia de otro tipo de flora acuática.
- c) Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados.

2. Elementos de calidad químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Generales: transparencia, condiciones térmicas y de oxigenación, salinidad y nutrientes.
- b) Contaminantes específicos vertidos en cantidades significativas.

3. Elementos de calidad hidromorfológicos de soporte a los elementos de calidad biológicos:

- a) Condiciones morfológicas: variación de la profundidad; estructura y sustrato del lecho costero y estructura de la zona ribereña intermareal.
- b) Régimen de mareas: dirección de las corrientes dominantes y exposición al oleaje.

4. Los indicadores correspondientes a los elementos de calidad biológicos, químicos y fisicoquímicos e hidromorfológicos de soporte aplicables a cada tipo de masa de agua se definen en el anexo II. Los contaminantes específicos quedan definidos en los anexos V y VI.

Cada uno de estos indicadores se evalúa mediante uno o varios parámetros (métricas), diseñados de manera específica para el tipo de masa de agua. Por ejemplo, los parámetros (métricas) seleccionados para el estudio del estado ecológico de los ríos en el Real Decreto 817/2015 se muestran en la [Tabla 3](#), siendo las métricas para el mismo elemento de calidad que allí se muestran alternativas para distintos tipos de masas de agua de la categoría ríos ([Tabla 4](#)).

ELEMENTO	NOMBRE DEL INDICADOR	ACRÓNIMO
Fauna bentónica de invertebrados	Índice IBMWP (Iberian Biomonitoring Working Party)	IBMWP
	Índice multimétrico ibérico-mediterráneo	IMMI-T ⁽¹⁾
	Índice multimétrico específico del tipo de invertebrados bentónicos	METI
	Índice multimétrico de invertebrados Vasco	MBi, MBf
	Índice multimétrico de invertebrados Islas Baleares	INVMIB
Otra flora acuática-macrófitos	Índice biológico de macrófitos en ríos en España	IBMR
Otra flora acuática-diatomeas	Índice de poluosensibilidad específica	IPS
Organismos fitobentónicos	Índice multimétrico de diatomeas Islas Baleares	DIATMIB
Estado de acidificación	pH	pH
Condiciones de oxigenación	Oxígeno disuelto (mg/L)	Oxígeno
	Tasa de saturación de Oxígeno (%)	% Oxígeno
Nutrientes	Amonio (mg NH ₄ /L)	Amonio
	Fosfatos (mg PO ₄ /L)	Fosfatos
	Nitratos (mg NO ₃ /L)	Nitratos
Condiciones morfológicas	Índice de calidad del bosque de ribera	QBR

Tabla 3. Indicadores (métricas) para la determinación del estado ecológico, físico-químico e hidromorfológico de las masas de agua de la categoría ríos, según lo especificado en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

INDICADOR	TIPOS DE RÍOS																																				
	R-T01	R-T02	R-T03	R-T04	R-T05	R-T06	R-T07	R-T08	R-T09	R-T10	R-T11	R-T12	R-T13	R-T14	R-T15	R-T16	R-T17	R-T18	R-T19	R-T20	R-T21	R-T22	R-T23	R-T24	R-T25	R-T26	R-T27	R-T28	R-T29	R-T30	R-T31	R-T32	R-B01	R-B02	R-B03		
IBMWP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
IMMI-T	*																																				
METI																																					
MBi																																					
MBf																																					
INVMIB																																					
DIATMIB																																					
IBMR**	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
IPS	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
pH																																					
O ₂																																					
% O ₂																																					
Amonio																																					
Fosfatos																																					
Nitratos	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
QBR**	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	

El indicador se utiliza para evaluar estado ecológico en el tipo señalado.

* Valor de condición de referencia obtenido bien con elevada incertidumbre estadística o bien a partir de datos insuficientes por interpolación y criterio de expertos (ver anexo III.B 2.6).

** Indicador que requiere mejorar el nivel de confianza, bien porque no está intercalibrados, bien porque requiere mejorar su adaptación a los tipos nacionales.

Tabla 4. Indicadores utilizados para los distintos tipos de río en el sistema de clasificación de estado vigente en España para los ríos, según lo especificado en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

Para cada una de esas métricas, cada tipo de masa de agua de cada categoría de masas tiene unas condiciones de referencia y umbrales (RCE), de cambio de estado, tal como se muestra en la Tabla 5 para un ejemplo de tipo de río (R-T01).

TIPOS RÍOS	INDICADOR	UNIDADES	CONDICIÓN DE REFERENCIA/ CONDICIÓN ESPECÍFICA DEL TIPO	LÍMITES DE CAMBIO DE CLASE DE ESTADO			
				Muy bueno/ bueno	Bueno/ moderado	Moderado/ deficiente	Deficiente/ malo
R-T01	IBMWP	-	124	0,88	0,53	0,31	0,13
R-T01	IMMI-T	-	1	0,826	0,682	0,455	0,227
R-T01	IBMR	-	10,8	0,94	0,70	0,47	0,23
R-T01	IPS	-	16	0,90	0,68	0,45	0,23
R-T01	QBR	-	80	0,0125			
R-T01	pH	-		6-8,4	5,5-9		
R-T01	Oxígeno	mg/L			5		
R-T01	% Oxígeno	%		70-100	60-120		
R-T01	Amonio	mg NH ₄ /L		0,3	1		
R-T01	Fosfatos	mg PO ₄ /L		0,2	0,4		
R-T01	Nitratos	mg NO ₃ /L		10	25		

Tabla 5. Ejemplo del sistema de clasificación de estado para los ríos del tipo R-T01, según lo especificado en el Anexo II del Real Decreto 817/2015.

Las especificaciones técnicas detalladas para el muestreo, análisis en el laboratorio y cálculo de indicadores (MAPAMA, 2013), que se podrán ir actualizando periódicamente, se recogen en la web del MITECO (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/programas-seguimiento/Protocolos-de-muestro-laboratorio-y-calculo-de-indices.aspx>). Estos protocolos tienen el carácter de procedimientos oficiales y serán de obligado cumplimiento para la aplicación de las condiciones de referencia, máximo potencial ecológico y límites de clases de estado. Las especificaciones técnicas del análisis químico para el seguimiento y evaluación del estado de las aguas, sedimentos y biota así como las normas dirigidas a demostrar la calidad de los resultados analíticos, se recogen en el anexo III C del Real Decreto 817/2015.

De acuerdo con el RD817/2015 y tal como literalmente se explicitó en UVEG, 2017, con texto consolidado de fecha 29/12/2016, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (BOE, 2015), un **Programa de seguimiento** de las aguas es el conjunto de actividades encaminadas a obtener una visión general coherente y completa del estado y calidad de las aguas. **Punto de muestreo** es el lugar geográfico de toma de muestra o datos y la **estación de muestreo** se define como el conjunto de puntos de muestreo utilizados para la evaluación del estado de la masa de agua. En su artículo 4 subdivide el programa de seguimiento en **programas: de control de vigilancia, de control operativo y de control de investigación**, así como el **control adicional de las masas de agua del Registro de zonas protegidas de cada demarcación**. También indica que el diseño y la implantación de los programas de seguimiento deberán incluir, al menos, las **estaciones de muestreo, elementos de calidad y frecuencias de muestreo** asociados a cada programa y serán conforme a los requisitos básicos definidos en el anexo I del RD. Estos programas se han de revisar cada seis años atendiendo a los resultados del estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales y se recogerán en el **plan hidrológico de cuenca**.

El **programa de control de vigilancia** está integrado por: a) El «**subprograma de seguimiento** del estado general de las aguas», que permitirá realizar la evaluación del estado general de las aguas superficiales y de los cambios o tendencias que experimentan estas masas de agua a largo plazo como consecuencia de la actividad antropogénica muy extendida. b) El «**subprograma de referencia**», que permitirá evaluar tendencias a largo plazo en el estado de las masas de agua debidas a cambios en las condiciones naturales, así como establecer condiciones de referencia específicas para cada tipo de masa de agua. c) El «**subprograma de control de emisiones al mar y transfronterizas**», que permitirá estimar la carga contaminante que cruza la frontera española y la que se transmite al medio marino. Los resultados de este programa permitirán diseñar

eficaz y eficientemente los futuros programas de control, así como disponer de información que sirva para complementar y validar el estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales que forma parte del estudio general de la demarcación que precede a la elaboración y propuesta de revisión del plan hidrológico (Figura 4). Las estaciones de muestreo para el **subprograma de referencia** han de situarse en masas de agua no modificadas que, por su bajo nivel de exposición a presiones e impactos antrópicos, sean representativas de las condiciones naturales (de referencia) del tipo de masa de agua del que se trate, y en ellas se deberán muestrear, al menos, todos los elementos de calidad biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos generales. Como mínimo, las estaciones se muestrearán durante un año dentro del periodo que abarque el plan hidrológico de cuenca. y son validadas por la Dirección General del Agua. Los elementos de calidad y frecuencias de muestreo aplicables en las estaciones integradas en el **Subprograma de control de emisiones al mar y transfronterizas** son las previstas en el programa de control de emisiones definidas en los Convenios OSPAR, de Barcelona y de Albufeira.

El **programa de control operativo** tiene por objeto determinar el estado de las masas de agua en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales, así como evaluar los cambios que se produzcan en el estado de dichas masas como resultado de los programas de medidas. Se llevará a cabo sobre todas las masas de agua identificadas en riesgo de no cumplir los objetivos medioambientales a tenor del resultado del análisis de presiones e impactos o del resultado de los subprogramas de seguimiento del estado, y sobre las que se viertan contaminantes de la lista de sustancias prioritarias. En la información asociada a cada estación del programa de control operativo se señalarán las presiones causantes del riesgo sobre la masa de agua. Como mínimo, se identificarán las masas de agua en riesgo por sustancias peligrosas procedentes de fuentes puntuales y por plaguicidas procedentes de fuentes agrarias, y se denominarán respectivamente, control de sustancias peligrosas de origen puntual y control de plaguicidas de origen agrario.

El **programa de control de investigación** se implantará si se desconoce el origen del incumplimiento de los objetivos medioambientales; si el control de vigilancia indica la improbabilidad de que se alcancen los objetivos y no se ha puesto en marcha un control operativo a fin de determinar las causas por las cuales no se han podido alcanzar; y para determinar la magnitud y el impacto de una contaminación accidental. Este control permitirá definir el programa de medidas requerido para cumplir los objetivos medioambientales y, en su caso, de medidas específicas para remediar los efectos de una contaminación accidental. Los controles que se realicen al objeto de determinar los contaminantes específicos de la cuenca se incluirán en este programa.



Figura 4. Aspectos que definen el programa de **control de vigilancia** de las masas de agua de acuerdo con RD817/2015 con texto consolidado de fecha 29/12/2016, extraída de UVEG, 2017.

Los programas de control de vigilancia y operativo a los que están sometidas las masas de agua *se complementarán para cumplir los siguientes requisitos adicionales para el control de las masas de agua del registro de zonas protegidas:*

a) Las **masas de agua destinadas al abastecimiento humano**, y que a partir de uno o varios puntos de captación proporcionen un promedio de más de 100 metros cúbicos diarios, se someterán a controles adicionales de las sustancias prioritarias y los contaminantes vertidos en cantidades significativas; prestando especial atención a las sustancias que afecten al estado y que se regulan en el anexo I del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad de agua de consumo humano. Las estaciones o puntos de muestreo seleccionados para este control se identificarán como Programa de control de aguas destinadas al abastecimiento. Los controles adicionales se llevarán a cabo con la periodicidad que se expone a continuación:

Población abastecida

< 10000 habitantes
de 10000 a 30000 habitantes
> 30000 habitantes

Periodicidad

Trimestral
8 veces al año
Mensual

b) Las masas de agua en las que se ubiquen **zonas declaradas de protección de especies acuáticas significativas** desde el punto de vista económico, se someterán a un seguimiento adicional en el punto de control ambiental designado por el órgano ambiental para el control de las causas de contaminación que pudieran afectar a dichas especies. Los puntos de muestreo seleccionados para este control se identificarán como Programa de

control ambiental de zonas de especies acuáticas significativas desde un punto de vista económico. En estas zonas están incluidas las destinadas a la producción de moluscos y otros invertebrados marinos, en las que se tendrán en cuenta los requisitos de seguimiento establecidos en el Real Decreto 345/1993, de 5 de marzo, por el que se establecen las normas de calidad de las aguas y de la producción de moluscos y otros invertebrados marinos.

c) Las masas de agua en las que se **ubiquen zonas declaradas como aguas de baño** se someterán a un seguimiento adicional en el punto de control ambiental designado por el órgano ambiental para el control de las causas de contaminación que pudieran afectar a las zonas de aguas de baño, atendiendo a los perfiles ambientales elaborados de acuerdo con el Real Decreto 1341/2007, de 11 de octubre, sobre la gestión de la calidad de las aguas de baño. Los puntos de muestreo seleccionados para este control se identificarán como Programa de control ambiental de aguas de baño.

d) Las **masas de agua afectadas por la contaminación por nitratos** conforme al Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, se incluirán en el programa de control operativo, y tendrán en cuenta las especificaciones señaladas en la propia norma por la que se declaran las zonas vulnerables como zona protegida. Las estaciones o puntos de muestreo seleccionados para este control se identificarán como Programa de control de aguas afectadas por nitratos de origen agrario.

e) Las masas de agua que incluyan **zonas declaradas sensibles** de acuerdo con el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, se incluirán dentro de programa de control operativo, y tendrán en cuenta las especificaciones señaladas en la propia norma por las que se designen dichas zonas como zona protegida. Las estaciones o puntos de muestreo seleccionados para este control se identificarán como Programa de control de aguas en zonas sensibles por vertidos urbanos.

f) Las masas de agua situadas en las **zonas de protección de hábitats o especies de la red Natura 2000** se incluirán en el programa de control operativo cuando se considere que están en riesgo de incumplir sus objetivos medioambientales de la masa de agua. Las estaciones o puntos de muestreo seleccionados para este control se identificarán como Programa de control de aguas en zonas de protección de hábitats o especies. A este respecto reseñar que para los hábitats de interés comunitario de tipo lenítico recogidos en la Red Natura 2000 también se han desarrollado unos procedimientos específicos (Camacho et al., 2009), al igual que para otros hábitats de interés comunitario recogidos en el Anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE (DOCE, 1992) relativa a la protección de los hábitats y especies (VV.AA., 2009).

Los **programas de control de vigilancia y operativo se complementarán** también para cumplir requisitos específicos para el **seguimiento de las sustancias prioritarias y contaminantes**.

La DIRECTIVA (UE) 2015/1787 DE LA COMISIÓN EUROPEA de 6 de octubre de 2015 por la que se modifican los anexos II y III de la Directiva 98/83/CE del Consejo, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano establece los objetivos generales y programas de control del agua destinada al consumo humano.

1. Los programas de control del agua destinada al consumo humano deben:

- a) comprobar que las medidas aplicadas para controlar los riesgos sobre la salud humana en toda la cadena de suministro de agua a partir de la zona de captación, incluidos la extracción, el tratamiento, el almacenamiento y la distribución, son eficaces y que el agua en el punto de cumplimiento es salubre y limpia;
- b) facilitar información sobre la calidad del agua suministrada para consumo humano;
- c) determinar los medios más adecuados para reducir el riesgo sobre la salud humana.

2. De conformidad con el artículo 7, apartado 2, las autoridades competentes establecerán programas de control que satisfagan los parámetros y frecuencias establecidos:

- a) recogida y análisis de muestras de agua puntuales, o
- b) mediciones registradas mediante un proceso de control continuo.

Además, los programas de control pueden consistir en:

- a) inspecciones de los registros relativos al estado de funcionalidad y mantenimiento de los equipos, y/o
- b) inspecciones de la zona de captación y de las infraestructuras de extracción, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua.

3. Los programas de control pueden basarse en una evaluación del riesgo

4. Los Estados miembros velarán por que los programas de control se revisen de forma continua y se actualicen o confirmen nuevamente al menos cada cinco años.

Sera necesario un planteamiento de los distintos programas y procedimientos ligado a la zona de estudio para dar respuesta a la gestión holística, sostenible y futura del agua. Es necesario proceder en esa dirección para fijar las estaciones de muestreo, conocer los indicadores de presión/impacto y diseñar las metodologías adecuadas para establecer los indicadores de estado y a partir de ellos caracterizar las distintas masas de agua y su interrelación a través del ciclo integral del agua.

Las **metodologías implicadas en estos programas pueden ser muy distintas en lo referente a toma de muestra, tipos de técnicas de medida** (generales, específicas, de cribado, sostenibles, seguras, focalizadas en sus figuras de mérito, de coste-efectivo, entre otros aspectos) **y ejecución de las mismas** (in situ y laboratorio), lo que puede condicionar la calidad de los resultados obtenidos y por tanto los propios procedimientos y comprometer el cumplimiento de la legislación y el estado real de las aguas y ecosistemas, así como su sostenibilidad y eficiencia de coste. En relación a la toma de muestra se han de considerar los siguientes ítems: finalidad, por operador vs automática, in situ (in-line, on-line), conservación, adaptación a la metodología de análisis, tipos de matrices, número de campañas, masas y puntos, entre otros. Las metodologías que sólo pueden realizarse en el laboratorio, requieren de la toma de muestra en el lugar y transporte al laboratorio para su análisis, el muestreo podrá ser manual o automático, lo que incidirá de forma notable

en su huella de carbono, además se tendrán que considerar las características de los métodos realizados en el laboratorio en referencia a su sostenibilidad, figuras de mérito, seguridad y coste-efectividad [Segovia-Martínez, 2014; Morassi, 2016; Pla-Tolós et al., 2016; Serra-Mora et al., 2017]. **No son muchas las tecnologías que se pueden adaptar al análisis in situ ya sea continuo o secuencial; autonomía, portabilidad, sensibilidad, calibración, almacenamiento de datos y robustez son puntos críticos** [Molins-Legua et al., 2006; Camacho et al., 2013; Jornet-Martínez et al., 2017; Lopez-Baeza et al., 2016a - 2016b]. La demanda actual de estos métodos en distintas áreas es alta.

7. Tipos de programas de seguimiento: Nuevas aportaciones

Dos desafíos potenciales para el manejo satisfactorio del agua en áreas urbanas son la sequía y el cambio climático. Las sequías suponen un desafío, ya que la precipitación en un área urbana se reduce durante un período prolongado de tiempo, lo que puede ocasionar **problemas de calidad y cantidad de agua**. Para reducir estos problemas, puede ser necesaria la entrada artificial de agua. En momentos en que la entrada artificial no es posible o suficiente, el área afectada puede sufrir daños a través de (varios) mecanismos. **El cambio climático constituye un desafío para la gestión del agua urbana, ya que las sumas anuales de precipitación y la cantidad de evaporación potencial pueden cambiar.** El cambio climático también puede dar lugar a diferencias en los patrones generales de viento, lo que probablemente causará un cambio en los patrones de precipitación durante el año. En un escenario ventajoso, un cambio en el patrón general de viento puede resultar en un cambio en la precipitación hacia los meses más secos. En un escenario desventajoso, puede ocurrir lo contrario, lo que probablemente se traduce en una mayor probabilidad de que ocurran problemas.

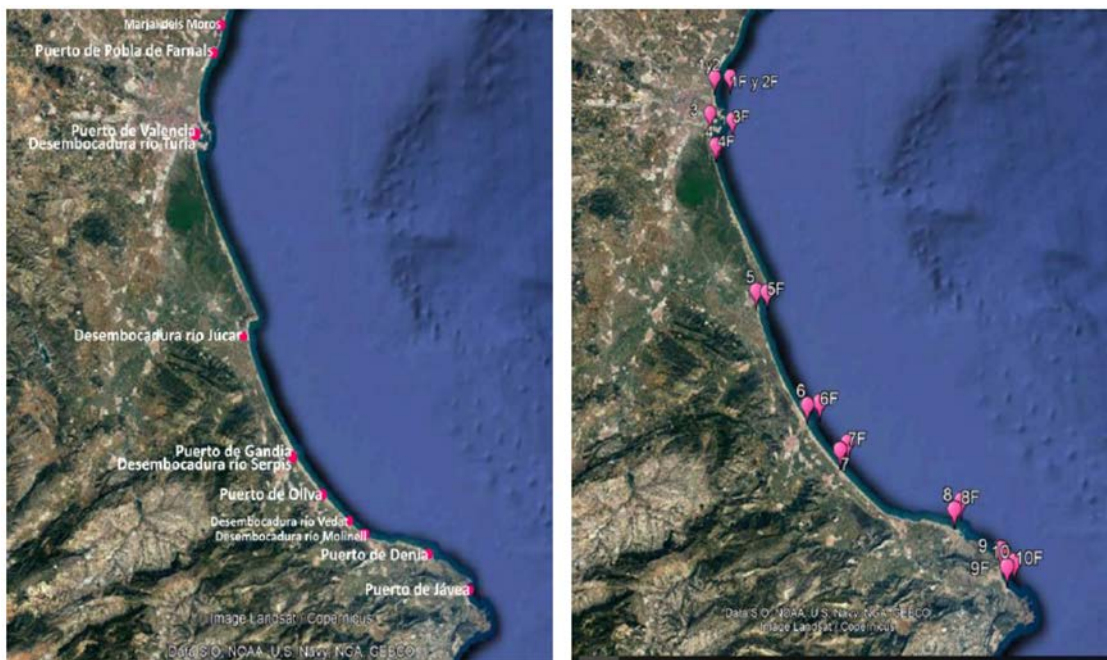
El cambio climático está intensificando o “acelerando” el ciclo global del agua mediante el aumento de las tasas de evaporación del océano, la evapotranspiración terrestre, y la precipitación. Huntington et al., 2018 definen la intensificación como un aumento en el flujo de agua entre océano, atmósfera, tierra, agua dulce y criosfera. La base científica para la intensificación inducida por el calentamiento se basa según los autores mencionados en los siguientes considerandos: (1) la evaporación aumenta al aumentar la temperatura, siempre que el agua no sea limitante y (2) el aire más caliente retiene más humedad. A través de la ecuación de Clausius-Clapeyron establecen que el vapor de agua aumentará en aproximadamente un 7% por grado K de aumento de temperatura. Estos autores han propuesto un nuevo marco de indicadores para cuantificar la intensidad del ciclo del agua terrestre, ilustrando un modelo de balance de agua distribuido espacialmente de los Estados Unidos (CONUS). **Proponen aproximarse a la intensidad del ciclo del agua (WCI) desde una perspectiva de paisaje;** WCI se define como la suma de precipitación (P) y la evapotranspiración real (AET) sobre una unidad de interés de paisaje espacialmente explícita, promediada durante un período de tiempo específico (paso) de interés. El intervalo de tiempo puede ser de cualquier duración para ajustándose a los datos disponibles. Se define la escurrentía ajustada al almacenamiento (Q_0) como la suma de la escurrentía real (Q) y la tasa de cambio en el almacenamiento de humedad del suelo (DS / Dt positivo o negativo). El indicador Q_0 ha demostrado ser matemáticamente

complementario a WCI, de manera que permite la interpretación gráfica de su relación. Para el estudio, se utilizaron modelos distribuidos espacialmente a largo plazo. Para simulaciones con un paso de tiempo anual, se encontró que WCI aumentó en la mayoría de los CONUS entre los períodos de 1945 a 1974 y de 1985 a 2014, impulsados principalmente por aumentos en precipitación. En porciones del oeste y CONUS del sureste, Q0 disminuyó debido a disminuciones en Q y en el almacenamiento de humedad del suelo. Indican que el análisis de WCI y Q0 en escalas temporales que van desde sub-diario a multi-decenal podrían mejorar la comprensión del amplio espectro de respuestas hidrológicas que se han atribuido a la intensificación del ciclo del agua, así como las tendencias en esas respuestas.

Los datos de Observación de la Tierra, colección masiva de datos espacio-temporales adquiridos desde plataformas espaciales y sensores en superficie, podrían relacionarse con datos procedentes de otras fuentes y comunidades. La utilización de este dominio en la gestión de los recursos hídricos necesita todavía desarrollarse con más intensidad para poder establecer Sistemas de Ayuda a la Decisión, que sean eficaces en relación con el Ciclo Integral del Agua. Se pueden utilizar datos y productos de teledetección con tres objetivos:

- (i) Estudio de la calidad de las aguas costeras por teledetección con diferentes resoluciones espaciales (entre 10 m y 1 km) a partir de medidas de los Satélites Sentinel-1, -2 y -3 del Programa Copernicus (CE-ESA), del sensor MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua de NASA, y de los satélites Landsat-5, -7 y -8. Como ejemplo, Erazo Ceballos (2018.) estudia con detenimiento los aportes realizados por los emisarios submarinos y por la Albufera de Valencia teniendo en cuenta las fuentes de alteración (Figura 5).
- (ii) Identificación de zonas con escasez persistente de agua y clasificación de los usos del suelo para proponer la optimización de la reutilización de aguas depuradas con aplicaciones agrícolas [UVEG, 2016].
- (iii) Estudios de contaminación de aguas y los suelos en humedales afectados por actividades humanas y zonas agrícolas del área Mediterránea [Boluda et al., 2013; Rodríguez-Martín et al., 2015; Gil et al., 2018; Iranzo et al., 2018]. Se puede determinar el estado de un agroecosistema a partir de observaciones sobre los atributos del suelo e índices de vegetación obtenidos de imágenes proporcionadas por los satélites. Se puede seguir la calidad de un ecosistema a través de las relaciones suelo-planta directamente influenciadas por la calidad del agua y la presión debida a las actividades humanas, estableciendo un modelo basado en el impacto que estos contaminantes producen en los índices de vegetación obtenidos mediante imágenes Landsat [Rojas Suárez, 2010; Ramos Muñoz, 2017].

Las Figuras 5-8 muestran algunos ejemplos de seguimiento de la costa valenciana en relación al punto i).



EMISARIOS SUBMARINOS 2016		
MUNICIPIO	Nº	NOMBRE
VALENCIA	1	Aliviadero submarino de Vera
	2	Emisario submarino estación de pretratamiento de Vera
	3	Emisario submarino de EDAR de Pinedo
	4	Aliviadero submarino el Saler
CULLERA	5	Aliviadero EDAR de Cullera
GANDIA	6	Emisario submarino EDAR
OLIVA	7	Emisario submarino EDAR
DENIA	8	Emisario submarino EDAR
JÁVEA	9	Aliviadero submarino de playa de la Grava
	10	Emisario submarino EDAR, Playa Arenal

Figura 5. Imagen con principales fuentes de variaciones en clorofila-a y turbidez e imagen con los emisarios dispuestos numerados del 1 al 10.

El estudio se desarrolla con más detalle del mostrado en la [Figura 5](#) utilizando la imagen de Sentinel-2 (10 m de resolución espacial) correspondiente al día 17 de Noviembre de 2017 ([Figura 6](#)). En cada uno de estos emisarios se observan las plumas de dilución, las concentraciones de clorofila a y la presencia de difusores, entre otros ([Figuras 6-8](#))

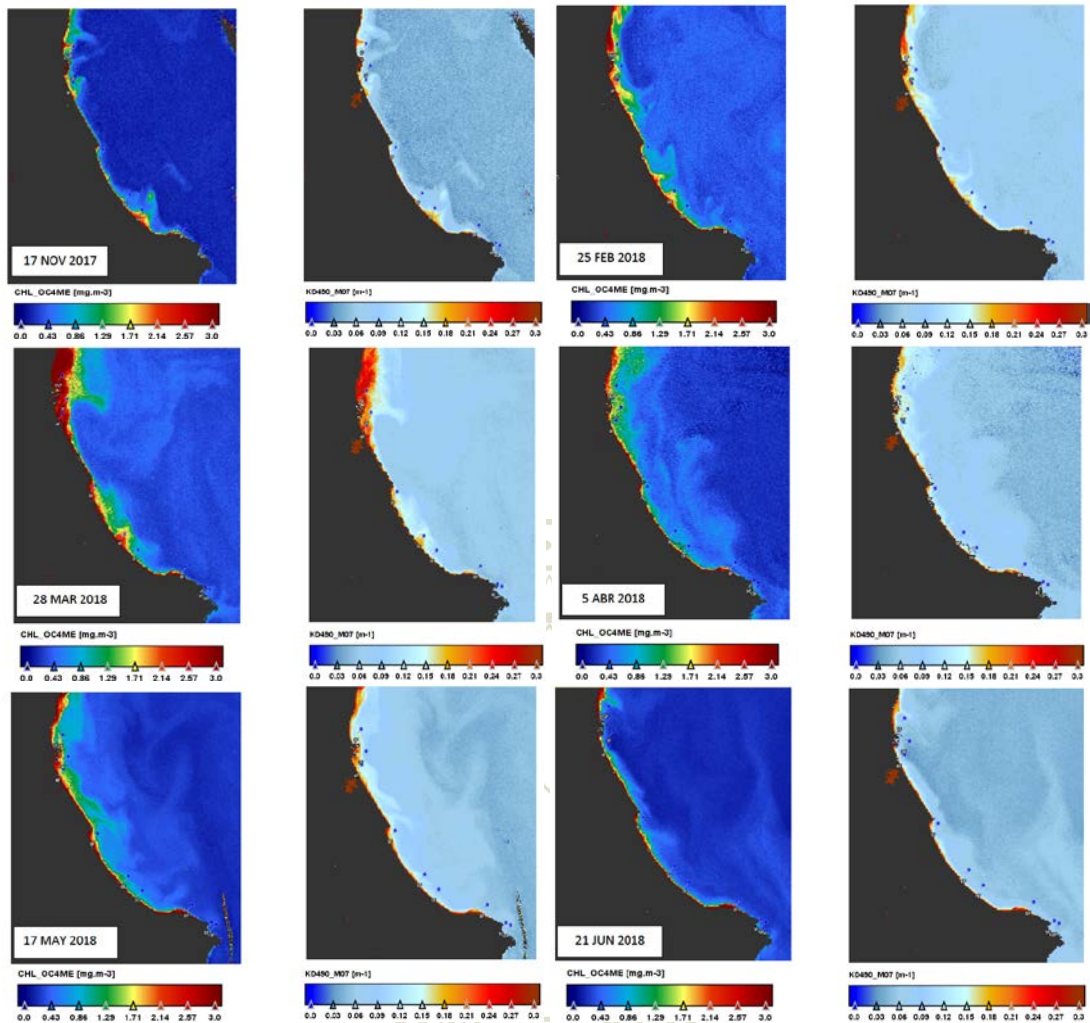


Figura 6. Parejas de imágenes de Sentinel-3 (300 m de resolución espacial) de clorofila y turbidez en la zona anteriormente mencionada que incluye los emisarios submarinos de la tabla 5 para las fechas que se indican

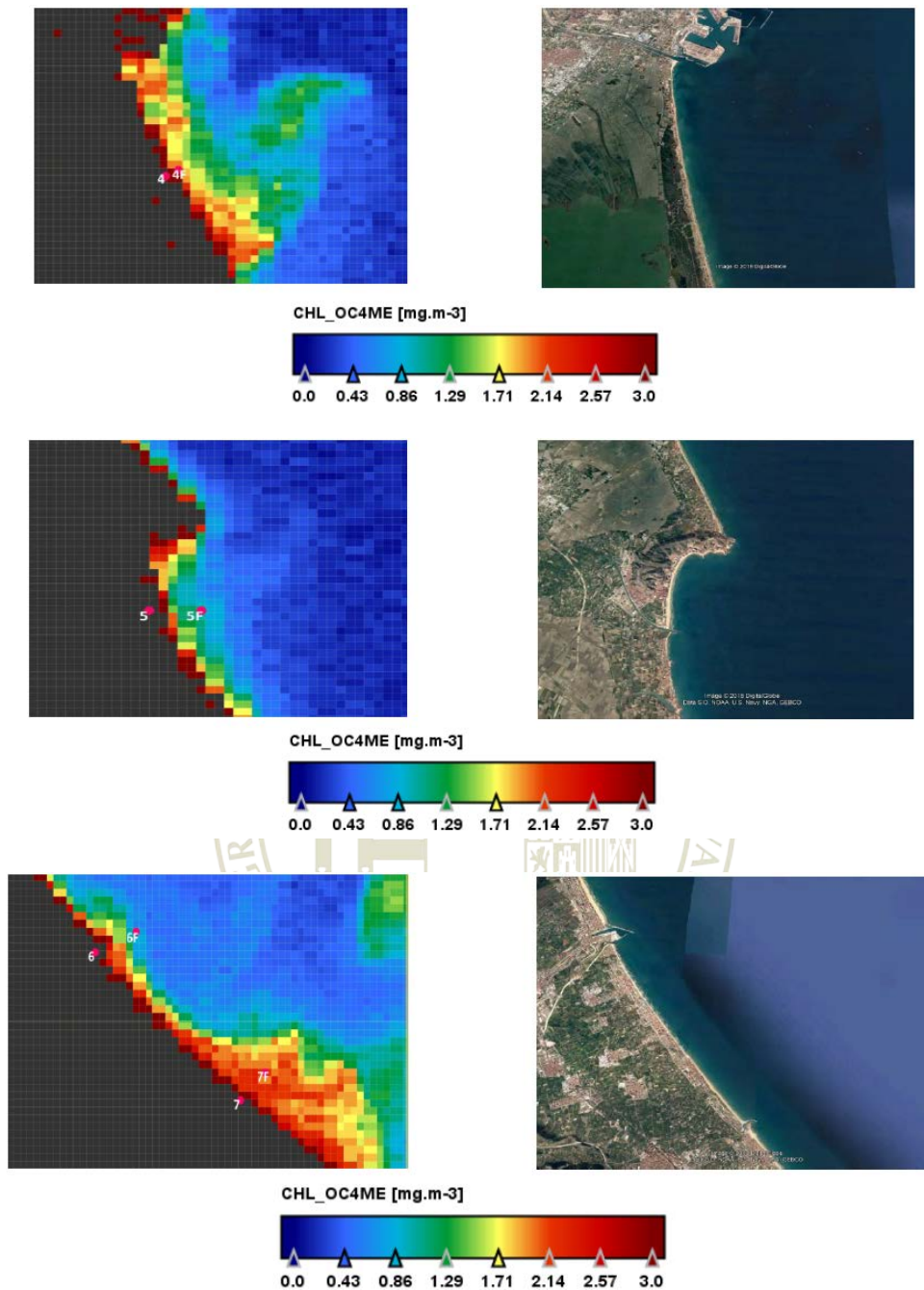


Figura 7. Ampliación de la observación de clorofila a sobre los emisarios 1, 2 y 3 que bordean la bocana del Puerto de Valencia. (ver Figura 5)

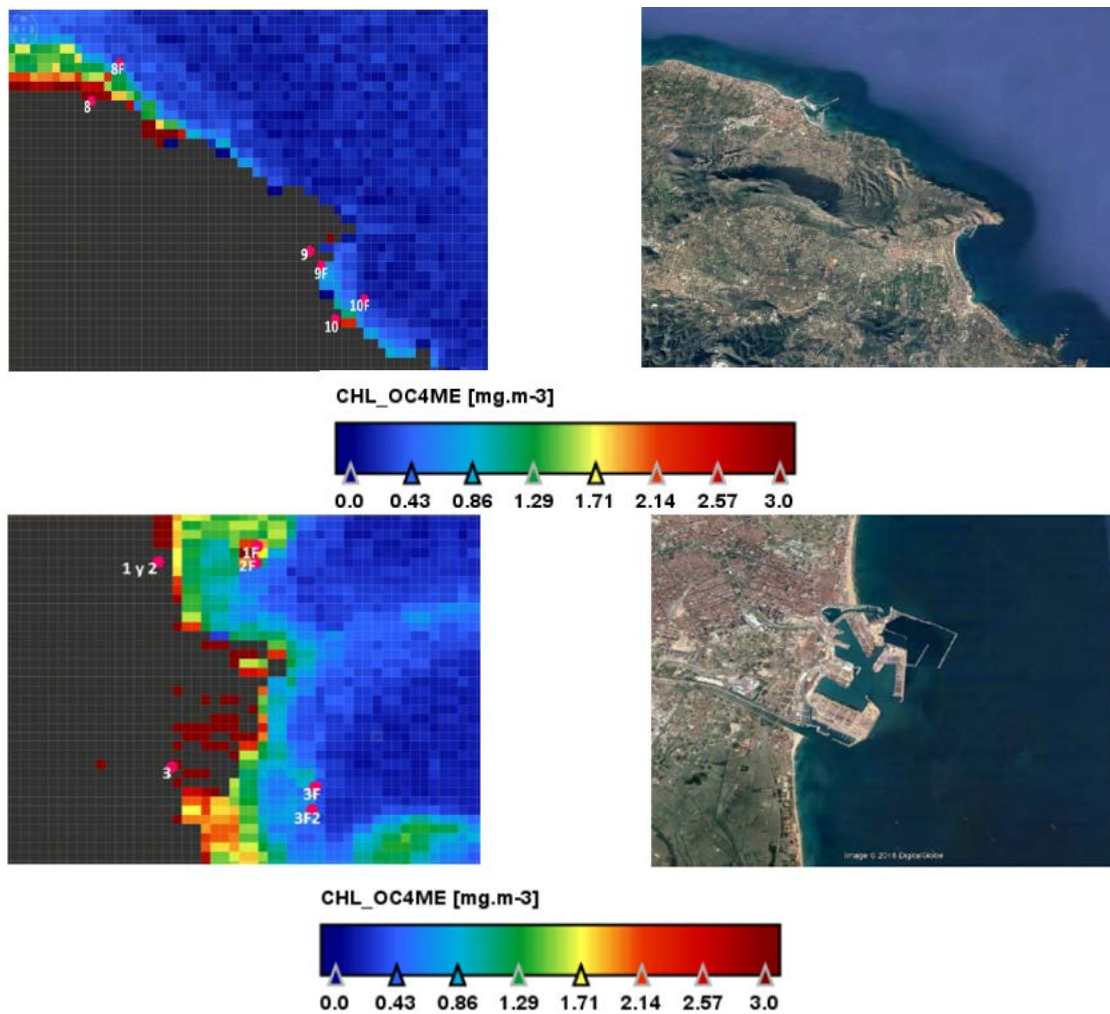


Figura 8. Ampliación de la observación de clorofila a sobre los emisarios 6, 7, 8, 9 y 10 (ver Figura 5).

El análisis de los emisarios con imágenes de teledetección proporciona información muy valiosa. Esta actividad de seguimiento es una herramienta robusta y precisa para mejorar el programa de vigilancia actual. Se ha podido observar como los emisarios de Vera y los de Pinedo son los emisarios más activos en la costa valenciana. También se hace posible evaluar cómo se dan los procesos de dilución y qué tipo de dilución es dominante. En general, es posible discernir ciertas variaciones. Sin embargo, este estudio se ha realizado en un intervalo temporal corto, y las variaciones en ocasiones son muy claras, como ocurre con el emisario de Vera pero, en otras ocasiones, teniendo presente que están dispuestos cerca de puertos y desembocaduras, es complicado diferenciar si las variaciones son producidas por los emisarios o por otras fuentes de vertido.

Por otra parte y en relación al punto ii) definido en los párrafos anteriores, en el marco del Grupo de Acción RESEWAM-O (Remote Sensing for Water Management Optimisation) de European Partnership on Water (EIP Water) (Lopez-Baeza et al., 2016a,

2016b), se ha demostrado con éxito la utilización del Índice de Sequedad Temperatura-Vegetación (TVDI, Temperature Vegetation Dryness Index) para la identificación de zonas con escasez de agua persistente en función del periodo de tiempo analizado. Primeramente, se aplicó como Estudio Piloto a las Cuencas del Júcar y del Segura (años 2011-2013) (UVEG, 2016) (Figura 9) y también se ha aplicado en la región Centro Este de la República Argentina (años 2013-2015) (Morassi, 2016) y en Irán (años 2013-2015) (Lopez-Baeza et al., 2016a, 2016b). El TVDI estima la sequedad de la superficie de la tierra, basándose en la parametrización empírica (método indirecto) de la relación existente entre la temperatura de la superficie, TSS, y el Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI, Normalised Difference Vegetation Index).

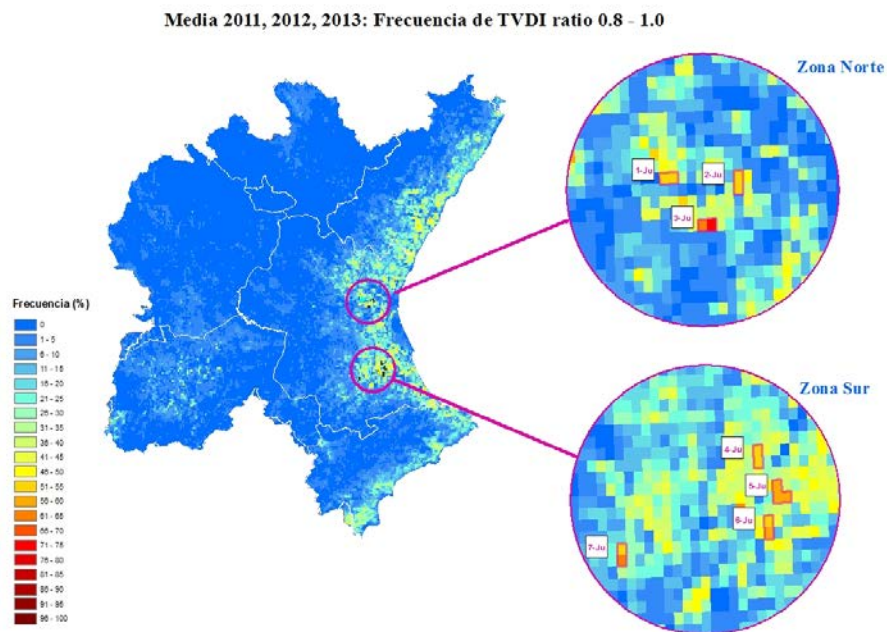


Figura 9. Distribución espacial de los valores extremos del Índice TVDI (0,8-1,0) y frecuencia de la persistencia de estos valores en el periodo 2011-2013 en la Cuenca del Júcar

La correlación espacial del TVDI con la clasificación de usos del suelo del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) [SIOSE, 2016] pone claramente de manifiesto los tipos de coberturas y cultivos agrícolas en las zonas más críticas de escasez de agua (Figura 10). Puede observarse que existe una clara certeza de que los cultivos cítricos presentan mayor frecuencia de déficit hídrico. En la provincia de Castellón, exceptuando zonas donde se presentan pequeñas áreas de pastizal, coníferas y asociaciones de suelo artificial compuesto, los cultivos de cítricos cubren las franjas con mayor frecuencia de déficit hídrico alto. En la provincia de Valencia, concretamente en la zona de Villanueva de Castellón y Alzira, una vez más queda claro que las zonas de mayor frecuencia en déficit hídrico coinciden también con cultivos cítricos. Sería conveniente seguir el TVDI con el tiempo para la Comunidad Valenciana mediante datos y productos MODIS (satélites Terra y Aqua de NASA) de temperatura de la superficie (LST, Land Surface Temperature) e índices de vegetación (NDVI o mejor, EVI, Enhanced Vegetation

Index) para identificar las zonas con escasez de agua y considerarlas en la gestión del recurso.

COBERTURAS SIOSE EN FOCOS CON FRECUENCIAS > 50% DE TVDI CON RATIO 0.8 - 1.0 EN TODA LA COMUNIDAD VALENCIANA

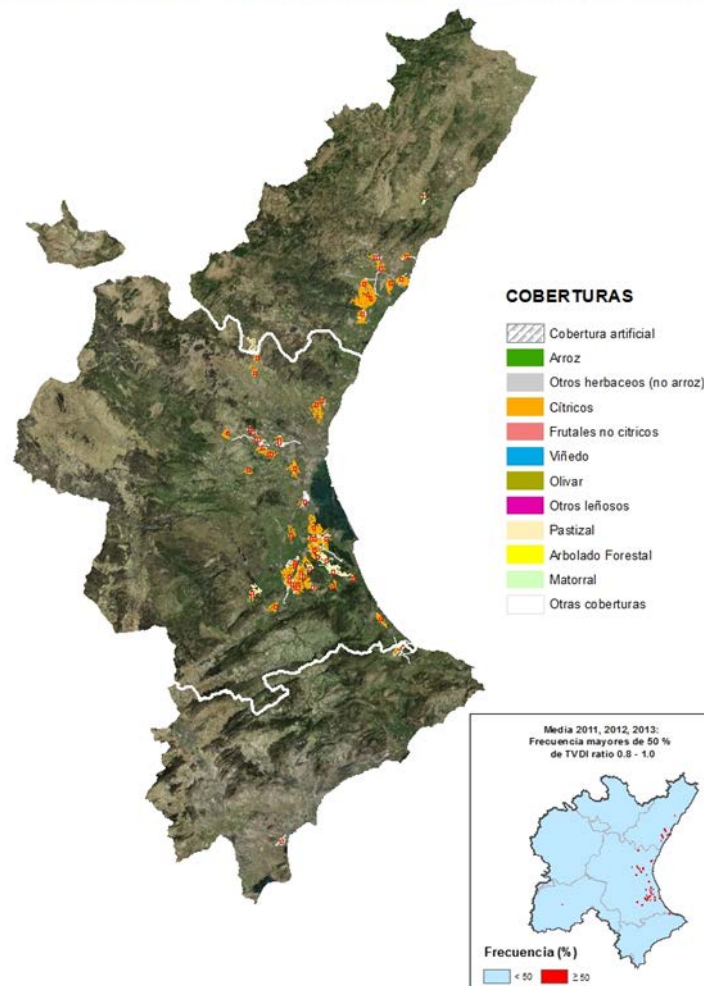


Figura 10. Distribución espacial de las coberturas SIOSE en las zonas de mayor escasez de agua (TVDI > 0,8 y frecuencia de persistencia en estos valores superior al 50% de las imágenes utilizadas)

Finalmente y considerando la utilidad iii) de la teledetección, se ha visto que los suelos de la zona norte del PNA presentan niveles de contaminación por Cr, Cu, Ni, Pb y Zn elevados en contraste con los suelos de la zona sur, aspecto que se mantiene desde el año 1987 hasta la actualidad. Este hecho se confirma a través de los valores del índice de vegetación obtenidos para ambas zonas mediante las imágenes del satélite Landsat, demostrando los efectos de la contaminación del suelo sobre el desarrollo del cultivo. Esto puede dar lugar a modelos que sirven para el estudio y el seguimiento de las relaciones

suelo-planta en humedales. En la Fig 10 Puede observarse un mantenimiento en la tendencia a valores altos de NDVI en la zona sur debido a su menor concentración de contaminantes. La Fig 11 indica que la zona sur (valores de contaminación más bajos) presenta mayores índices de vegetación con respecto a la norte.

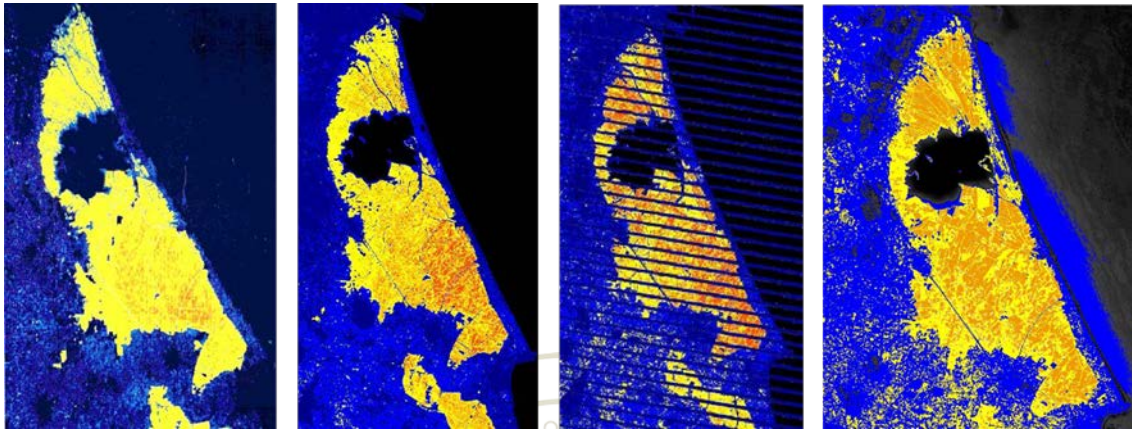


Figura 11. Cambios en los índices de vegetación diferencia normalizada (NDVI) para los años 1987 (Landsat 5), 1999 y 2009 (Landsat 7) y 2016 (Landsat 8), respectivamente. Las coloraciones rojas y naranjas indican un mayor valor de NDVI, el amarillo menor NDVI y las coloraciones azules, corresponden a zonas que no son cultivos de arroz o que no contienen vegetación.

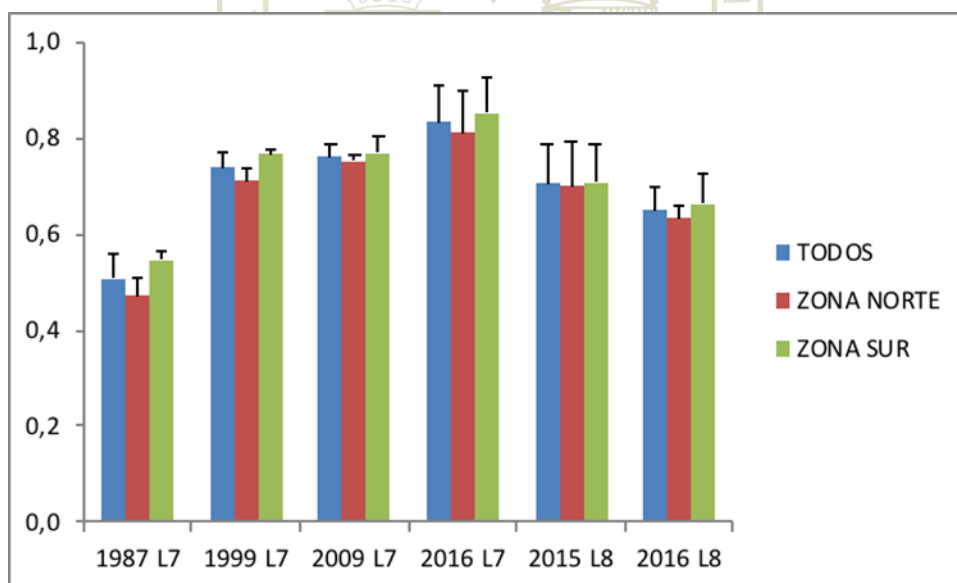


Figura 12. Valores medios del índice de vegetación diferencia normalizada para todos los datos, para las parcelas del norte y para las parcelas del sur del PNA, para los años estudiados.

El uso de la tierra y las variables climáticas pueden alterar el proceso hidrológico dentro de un ecosistema fluvial y servicios ecosistémicos relacionados, especialmente durante el siglo XXI [Veettil and Mishra, 2018] . La desigualdad en la distribución espacio-temporal de lluvias durante un período de tiempo complica aún más la disponibilidad regional de este recurso. Es importante valorar el uso del agua en la agricultura para hacer frente a los desafíos de la composición del agua dulce. **Se han desarrollado metodologías / índices para evaluar la seguridad de agua de una región. Los índices de escasez de agua basados en el concepto de huella del agua son herramientas importantes para mejorar la gestión de los recursos existentes.** Estos indicadores pueden cuantificar la cantidad de agua consumida de un cauce de río o un acuífero a escala regional, **la huella de agua azul es el consumo de agua realizado de los recursos de agua azul y puede estimarse a partir del volumen consumido como resultado de la producción de bienes y servicios. La huella de agua verde se refiere al consumo de agua de las fuentes verdes, evapotranspiración a partir de la agricultura y zonas forestales.** Los factores antropogénicos impactan gravemente en los recursos de agua azul, alterando el régimen estacional de flujos y disminuyendo las aguas subterráneas. La agricultura puede alterar la cantidad de evapotranspiración, escorrentía y flujo subterráneo, además de alterar la concentración de nutrientes [Veettil and Mishra, 2018].

Rutten (2013) considera el ciclo integral del agua urbana como la combinación del ciclo hidrológico y el sistema de agua, de acuerdo con la **Figura 13**, estableciendo los flujos y almacenamientos. El modelo conceptual trata un área como una entidad homogénea con valores de parámetros y variables que representan un "promedio" sobre el área.



Figura 13. Flujos y almacenamientos (reservas) del ciclo integral del agua. Adaptada de Rutten (2013)

Otra forma de definir el ciclo del agua urbano considera la interacción espacio-temporal entre el agua y los procesos hidrológicos, así como el suministro, tratamiento, distribución, consumo, recogida, previsión y reutilización llevados a cabo en zonas urbanas o parcialmente urbanas [Peña-Guzmán et al.,2017]. Estos autores indican que el ciclo tiene cuatro entradas principales: agua, contaminantes,

energía y productos químicos. Lo primero, y lo más esencial, para este ciclo es el agua, que proviene de dos fuentes principales: fuentes de suministro (por ejemplo, agua de superficie y / o agua subterránea) y precipitación, que permitirían el cálculo de reservas y consumo hídrico. La segunda entrada se refiere a los contaminantes, que están estrechamente relacionados con los flujos de agua, ya que éstos son el medio de transporte y / o entrada al ciclo. **Los contaminantes entran en el ciclo a través de los flujos de las aguas superficiales y / o subterráneas, aguas residuales y tratamientos, flujos de agua de lluvia asociados con agua atmosférica, diferentes superficies y su uso químico.** La tercera entrada, la energía, es muy importante debido a sus costes y efectos ambientales atribuibles a los gases de efecto invernadero y al uso de los recursos naturales. Su uso se relaciona principalmente con la función de los sistemas de tratamiento, suministro de agua y calefacción, también es destacable el hecho de que en el tratamiento de aguas residuales se produce biogás por la digestión de compuestos orgánicos. La cuarta y última entrada se refiere a los productos químicos utilizados para tratar las aguas residuales y el agua potable que pueden tener incidencia económica, medioambiental y sanitario. El ciclo y sus entradas se modificarán por factores externos e internos, por lo que la complejidad de su gestión crecerá. **El seguimiento y la evaluación son pasos esenciales en la gestión ambiental del agua.**

El trabajo de revisión de Peña-Guzmán et al., (2017) presenta el estado del arte en cuánto a modelos de simulación/gestión del ciclo del agua urbano, si bien recalcan los autores que **su mayor contribución actualmente es académica, ya que no han sido aplicados como una herramienta de toma de decisiones por entidades públicas o gubernamentales.** Además subrayan que aunque existen relaciones directas entre los sistemas de energía y los diferentes procesos del ciclo, varios de los modelos y programas de software no incluyen estos sistemas. También han contribuido en esta dirección los proyectos europeos : WaND (Water for New Developments), SWITCH (Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health), TRUST (Transitions to the Urban Water Services of Tomorrow) y Aqua-Riba (GUÍA PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA EN ÁREAS URBANAS. APLICACIÓN A LA REHABILITACIÓN DE BARRIADAS EN ANDALUCÍA).

Otro de los conceptos a considerar es el de **ciudad sensible al agua** que ha de ser resiliente, habitable, productiva y sostenible [Simon et al., 2017]. Adoptan prácticas holísticas e integradas de gestión del ciclo del agua para satisfacer las necesidades de agua y habitabilidad de una ciudad. **Una ciudad sensible al agua mejora el ciclo hidrológico urbano** al: proporcionar seguridad hídrica para la prosperidad económica a través del uso eficiente de diversos recursos hídricos; mejorar y proteger la salud de los cursos de agua y humedales; mitigar el riesgo de inundaciones y daños; y creando espacios públicos que cosechan, limpian y reciclan el agua. Los valores organizativos y comunitarios también desempeñan un papel importante en una ciudad sensible al agua al influir en las decisiones de diseño urbano y las prácticas de gestión del agua.

8. Contribución al ciclo integral

La gestión del ciclo del agua se relaciona con todas las decisiones de planificación, desarrollo de estrategias, operativas y tácticas para optimizar el ciclo del agua para satisfacer los objetivos humanos o ambientales. Muchas disciplinas científicas y de ingeniería pueden estar involucradas en la gestión del ciclo del agua como se deriva de los capítulos precedentes:

- La meteorología trata de predecir y medir la precipitación.
- La gestión de los recursos hídricos se ocupa de la visión general de la gestión de los recursos de agua dulce disponibles en áreas definidas
- La hidrología mide el flujo de agua en ríos y subterráneos y predice los patrones de flujo utilizando los resultados de la meteorología junto con el modelado matemático del flujo de aguas subterráneas y de ríos.
- La ingeniería del agua abarca el tratamiento del agua, el tratamiento de alcantarillado y alcantarillado, entre otras disciplinas, el suministro de agua limpia a los hogares y las empresas y la eliminación del agua contaminada para su reutilización.
- La conservación del agua se ocupa principalmente de técnicas y prácticas para minimizar el uso del agua y lograr los objetivos deseados.
- El seguimiento o monitoreo ambiental proporciona información y tendencias sobre el impacto de las políticas adoptadas en la gestión del ciclo del agua en los ecosistemas y la biota sensible.

El denominado **ciclo integral del agua** incluye: captación, elevación, conducción, tratamiento, incluida la desalación, distribución de aguas potables, tanto para usos domésticos como industriales, y la evacuación mediante redes de alcantarillado, saneamiento y depuración de aguas residuales, tanto urbanas como industriales, ya se trate de servicios públicos prestados por empresas o entidades privadas o públicas, o de actividades prestadas para empresas privadas. Actualmente el concepto legal que regula la calidad de las aguas destinadas al consumo humano en España se basa en la Directiva 98/83/CE del Consejo de 3 de Noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, si bien **existe una propuesta de nueva directiva** (ver apartado normativa) que persigue abordar el tema de una forma holística. Agua potable es aquella que cumple una serie de caracteres organolépticos, físico-químicos, relativos a sustancias no deseables, a sustancias tóxicas, microbiológicas y de radiactividad, estableciéndose unos valores máximos admisibles para una serie de parámetros. Estos valores máximos corresponden a la mínima calidad admisible en el agua potable.

La Directiva 98/83/CE se transpuso al derecho interno español en el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. El agua de consumo humano se define en la normativa sanitaria como todas aquellas aguas, ya sea en su estado original, ya sea después del tratamiento, utilizadas para beber, cocinar, preparar alimentos, higiene personal y para otros usos domésticos, sea cual fuere su origen e independientemente de que se suministren al consumidor, a través de redes de distribución públicas o privadas, de

cisternas, de depósitos públicos o privados, la utilizada en la industria alimentaria, tanto en la fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinadas al consumo humano, como la utilizada en la limpieza de las superficies, objetos y materiales que puedan estar en contacto con los alimentos, y la suministrada como parte de una actividad comercial o pública, con independencia del volumen medio diario de agua suministrado. Se excluyen del ámbito de aplicación del Real Decreto 140/2003, entre otras, a todas las aguas de consumo humano procedentes de un abastecimiento individual y domiciliario o fuente natural que suministre como media, menos de 10 m³ diarios de agua, o que abastezca a menos de 50 personas, excepto si se percibe un riesgo sanitario, en cuyo caso la autoridad sanitaria requerirá a la administración local que adopte medidas para cumplir lo dispuesto en el Real Decreto 140/2003.

En octubre de 2015 se revisaron los anexos técnicos en los que se establecen los requisitos mínimos de control del agua potable (Directiva (UE) 2015/1787, que modifica la Directiva 98/83/CE) a la luz de los avances técnicos y científicos. **Los Estados miembros tenían que adoptar las medidas para dar cumplimiento a la Directiva antes del 27 de octubre de 2017. Dado que las autoridades de España no respetaron el plazo inicial, la Comisión les envió una carta de emplazamiento en noviembre de 2017. El 17-7-2018 La Comisión pide a las autoridades de España que completen la transposición de la Directiva sobre el agua potable en su legislación nacional.** Esta Directiva tiene por objeto proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación del agua destinada al consumo humano, garantizando su salubridad y limpieza. España ha reconocido que sus autoridades todavía están preparando las medidas necesarias para cumplir la Directiva en cuestión. Las autoridades de España disponían de dos meses para notificar a la Comisión las medidas tomadas para corregir la situación; de lo contrario, el asunto podría remitirse al Tribunal de Justicia de la UE.

Como se ha comentado en párrafos anteriores existe una propuesta de nueva Directiva (ver sección normativa) planteada como una refundición de la Directiva 98/83/CE, modificada en 2003, 2009 y 2015. En su conjunto, **la propuesta es coherente con la actual legislación de la UE en materia de agua, a saber, la Directiva marco sobre el agua, la Directiva marco sobre la estrategia marina, la Directiva sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas y la Directiva sobre los nitratos.** La propuesta complementa, en particular, a los artículos 6, 7 y 8 de la Directiva marco sobre el agua, relativos a los requisitos para la identificación y el seguimiento de las masas de agua utilizadas para la extracción de agua potable, así como los requisitos para la designación de zonas protegidas que abarquen estas masas de agua. Además, complementa al artículo 11 de dicha Directiva, que exige a los Estados miembros que establezcan programas de medidas en los que se incluyan medidas destinadas a proteger las zonas de extracción de agua potable.

La Universidad de Valencia ha realizado un análisis de las proyecciones climáticas regionalizadas para la Comunidad Valenciana hasta el año 2100 desarrolladas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (http://www.aemet.es/en/serviciosclimaticos/cambio_climat) a partir de los escenarios climáticos del último informe AR5 (Fifth Assessment Report) del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, Intergovernmental Panel on

Climnate Change) (<https://www.ipcc.ch/report/ar5/>). Este análisis ha permitido estudiar con detalle los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana, así como las vulnerabilidades y riesgos futuros, incluyendo problemas de escasez de agua, y proponer algunas medidas adaptativas sobre los sectores de importancia económica y social, tales como el energético, los recursos hídricos, la salud pública y el sector turístico (UVEG 2016, Peiró, 2015). Se estima que las pérdidas que se producen en la red de abastecimiento de agua suponen aproximadamente un 25% del agua total suministrada (Red Española de Ciudades por el Clima, <www.redciudadesclima.es>). La depuración de aguas residuales supone aproximadamente un 40% del consumo de energía final en el sector de los servicios públicos (Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, E4, MAPAMA, 2007). Esto convierte la gestión de los recursos hídricos en un apartado fundamental debido a su trascendencia, ya que una buena gestión puede mejorar la eficiencia energética destinada a este uso. Tan solo se consume alrededor de un 20% del agua utilizada por los sectores que reciben agua de la red de suministro público. El otro 80% es devuelto al medio, principalmente como aguas residuales tratadas. La superficie urbana, sellada y asfaltada, conduce generalmente el agua de lluvia en las ciudades a la red de saneamiento donde se junta con las aguas residuales.

La innovación e investigación en el ámbito del agua, abarca un amplio abanico de materias que incluyen la toma de datos, y el tratamiento de la información, las herramientas de planificación de medidas, la ingeniería, las tecnologías y procesos, y las herramientas de gestión. La gestión del agua en España requiere cumplir unos objetivos ambientales y socioeconómicos que son satisfacer las demandas de agua, conseguir y mantener en buen estado las masas de agua, mejorar la gestión de las sequías e inundaciones y definir los instrumentos económicos y financieros necesarios, para los que la I+D+i es una herramienta necesaria. ***El documento de líneas estratégicas Idiagua, define los ámbitos de innovación e investigación en el ciclo del agua así como las prioridades del sector y las necesidades para la gestión pública del agua.***

La aplicación del principio de subsidiariedad de la DMA, debe favorecer el desarrollo de una gobernanza del agua más integrada y participativa. Las nuevas tecnologías y sistemas de vigilancia y de gestión, pueden contribuir a paliar los efectos del cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos; el estrés en los ecosistemas; las nuevas demandas de hídricas y los riesgos de enfermedades y plagas.

Es necesario un replanteamiento de los procedimientos para dar respuesta a la gestión holística y futura del agua. Planificar, hacer, verificar y actuar son acciones necesarias para conseguirlo. La selección de datos técnicos del ciclo integral del agua y su estudio conjunto es fundamental para abordar los retos planteados, así como emplear modelos que incluyan nuevos conceptos como los enunciados en la sección anterior. A continuación se propone considerar y actuar sobre los siguientes datos multidisciplinares:

1. Datos relativos a captación y servicio incluyendo reutilización

La captación merma a los ecosistemas correspondientes de parte de su recurso esencial, por lo que es necesario identificar de manera genérica los tipos de captación y

las fuentes de ésta: superficiales, reutilización de distintos tipos de aguas servidas, subterráneas. Igualmente es necesario evaluar los recursos disponibles (caudales y calidades) y sus expectativas futuras, y catalogar los posibles efectos sobre los suelos de la captación y utilización de aguas de distintos orígenes y características.

La DMA establece un proceso de planificación y gestión para cada demarcación hidrográfica (DH). La caracterización de una DH, requerida por el artículo 5 de la DMA, es una importante primera parte de este proceso que necesita de un informe sobre el impacto de la actividad humana sobre el estado de las masas de agua. A partir de programas de medidas adoptados por los Estados Miembros [EC, 2006; EC, 2016], la degradación del suelo fue identificada como una presión para la calidad del agua, centrada en la erosión y la contaminación (local y difusa). La medida del estado de los factores formadores del suelo (material de origen, clima, topografía, organismos/vegetación y actividad humana) y la degradación del ecosistema edáfico (erosión, encostramiento superficial, pérdida de materia orgánica, salinización y contaminación) pueden ejercer una presión sobre las masas de agua (superficiales y subterráneas) y por tanto este hecho puede afectar a la gestión del agua. ***Es necesario integrar los puntos calientes de erosión y contaminación ya que puede representar una seria amenaza para los ecosistemas forestales relacionados con el suelo*** [Borrelli et al., 2017]. Por otro lado, para llevar a cabo de forma exitosa un proceso de reutilización de agua en la agricultura y evitar riesgos de salinización y sodificación del suelo, así como para eliminar problemas de toxicidad en los cultivos, se requiere considerar datos de calidad agronómica del agua [Ayers et al., 1994; UVEG, 2016; López-Baeza et al., 2016a].

El Índice de Sequedad Temperatura-Vegetación (TVDI, Temperature Vegetation Dryness Index) en las Cuencas de los ríos Júcar y del Segura se propone para la identificación de zonas con escasez de agua persistente [López-Baeza et al., 2016a, 2016b] y por tanto posibles zonas candidatas para la reutilización de aguas depuradas con fines agrícolas [UVEG, 2016]. El TVDI estima la sequedad de la superficie de la tierra, basándose en la parametrización empírica (método indirecto) de la relación existente entre la temperatura de la superficie, TSS, y el Índice de Vegetación Diferencia Normalizada (NDVI, Normalised Difference Vegetation Index) [Sandholt et al., 2002]. La correlación espacial del TVDI con la clasificación de usos del suelo del Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) puso claramente de manifiesto tal como se ha indicado en los apartados anteriores, los tipos de coberturas y cultivos agrícolas en las zonas más críticas de escasez de agua. Existe una clara certeza de que algunas zonas de cultivos cítricos presentan mayor frecuencia de déficit hídrico, tanto en la provincia de Castellón como en la provincia de Valencia. Se puede disponer de datos TVDI para la Comunidad Valenciana mediante datos y productos MODIS (satélites Terra y Aqua de NASA) de temperatura de la superficie (LST, Land Surface Temperature) e índices de vegetación (NDVI / EVI, Enhanced Vegetation Index), así como realizar una clasificación detallada de los usos del suelo en las zonas seleccionadas como críticas a partir del análisis del TVDI utilizando datos del sensor MSI a bordo del satélite Sentinel-2 del Programa Copernicus (CE/ESA).

2. Datos relativos a saneamiento, depuración y reutilización

Actualmente, el tratamiento de aguas residuales urbanas presenta un elevado consumo energético dentro del sector industrial. Todas las etapas de una EDAR consumen

energía, siendo el tratamiento de fangos activados (sistema de tratamiento más aplicado) la etapa que normalmente consume más del 50% del consumo energético total de la EDAR. La búsqueda de tecnologías de tratamiento de aguas residuales que optimicen el balance energético de las EDAR es fundamental para asegurar la viabilidad ambiental y económica de la reutilización de las aguas residuales. La optimización energética de la EDAR persigue transformar el concepto de EDAR como sistemas “consumidores” de energía a sistemas “productores” de energía, intentando alcanzar la autosuficiencia energética de la planta. La optimización del balance energético lleva asociada una mejora del balance ambiental, ya que la huella de carbono de la EDAR se ve reducida al disminuir el consumo neto de energía. Se pueden estudiar diferentes escenarios de tratamiento combinando tecnologías nuevas y convencionales para identificar el esquema de EDAR más sostenible considerando las diferentes demandas de agua y reduciendo el consumo energético. La calidad del agua obtenida deberá ser asegurada mediante las pertinentes herramientas de control. La cantidad de agua regenerada producida se puede reincorporar en el ciclo integral del agua, fundamentalmente a través de su uso agrícola (UVEG, 2016).

3. Datos relativos a control y vigilancia y cumplimiento de legislación

Dado que el ciclo integral del agua incluye un buen número de matrices acuosas y sus ecosistemas hay que considerar diversas directivas europeas relacionadas con el agua, su tratamiento y características esenciales, y sobre los ecosistemas acuáticos, como se ha puesto de relieve en la memoria. En base a ellas se han de establecer los procedimientos de control y vigilancia, eligiendo los parámetros de interés, las metodologías de análisis, la temporalidad y seguimiento de resultados para la toma de decisiones y posible implementación de acciones. Estos procedimientos han de contar con el responsable del control y vigilancia en función de la legislación, las posiciones de muestreo y/o análisis, metodologías de análisis, resultados, evaluación de los mismos y posibles acciones a realizar si éstos no son conformes con la legislación. De manera específica se ha de atender, entre otros, a los requerimientos de buen estado de las masas de agua establecidos por la DMA, del buen estado de conservación de los hábitats y las especies (de acuerdo con la Directiva Hábitats) en las zonas de Red Natura 2000 y otras zonas protegidas sensu DMA (p.ej. zonas de captación para el abastecimiento humano), a las exigencias de la Directiva de depuración y a las normas medioambientales sobre zonas sensibles (p.ej. zonas sensibles a la eutrofización). Los recursos de los que dispone a modo de ejemplo la ciudad de Valencia en la actualidad (<https://www.ciclointegraldelagua.com/>) son:

- Pluviómetros.
- Limnímetros y Caudalímetros. Radares.
- Estaciones Fijas de Control de Contaminación. Tomamuestras (Temperatura, Conductividad, pH, Oxígeno disuelto, Turbidez, Ion amonio.
- Piezómetros.
- Unidades Móviles de Control de Calidad de Aguas Residuales (UCCAR).
- Control de Calidad de Aguas. Planes de muestreo.
- Proyecto de desarrollo de telemando y sistema videoinspección móvil.

Sin duda son mejorables considerando el estado del arte actual.

4. Datos relativos a incidencia en el medio natural

Es necesario considerar los objetivos marcados para las zonas protegidas y, más específicamente el procedimiento para la evaluación de los efectos de la utilización del agua sobre el medio natural, incluyendo hábitats y especies objeto de especial atención como las de los anexos de la Directiva Hábitats o cualquier otro valor natural o cultural objeto de interés. La evaluación de esta incidencia sobre los valores naturales y servicios ecosistémicos de las zonas objeto de estudio debe realizarse, utilizando metodología estandarizada, compatible con la diseñada para la evaluación del estado ecológico de masas de agua [RD817/2015], tal como, por ejemplo, la diseñada para la evaluación del estado de conservación de estado de conservación de hábitats acuáticos y sus especies asociadas (Camacho et al, 2009; VV.AA., 2009) y de o para la evaluación de los servicios ecosistémicos. Con la evaluación señalada se dispondrá de información muy valiosa para evaluar la incidencia de la gestión del agua en el medio natural.

Respecto a las interacciones atmosfera-agua-suelo-planta, se han de establecer parámetros que describan e identifiquen con mayor precisión aspectos relacionados con el efecto del uso y la calidad del agua sobre el medioambiente y especialmente sobre el sistema suelo-planta según las directrices de la estrategia europea para la protección del suelo y la DMA. Para ello se pueden emplear índices de contaminación y de degradación física, química y biológica conjuntamente con técnicas geoestadísticas y de teledetección, previamente establecidos [Borelli et al., 2017, Boluda et al., 2013; Rodriguez-Martin et al., 2013, 2016; Mancino et al., 2016; Alibrahim et al., 2017; Gil et al., 2018], para determinar la variabilidad espacial y los cambios debidos a la reutilización del agua. Los indicadores de dicha evaluación pueden ser complementados con el uso de la Teledetección.

Todo ello permitiría disponer de una metodología para evaluar cambios espacio-temporales debidos a la gestión del agua en cada DH y de ayuda a la toma de decisiones. A partir de los datos y productos del sensor OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) a bordo del satélite Sentinel-3A (y del futuro -3B) del Programa Copernicus (CE/ESA), se podría realizar un control y seguimiento de parámetros tales como la concentración de clorofila-a, transparencia, materia orgánica disuelta coloreada y materia total en suspensión, así como temperatura y salinidad superficial del mar, estudiando sus variaciones estacionales, sobre todo asociadas a variaciones de las aglomeraciones en las zonas costeras. También se podrían seguir las zonas de emisarios marinos y de vertidos de diferente naturaleza mediante productos especialmente obtenidos con el sensor MSI (Multispectral Imager) (resolución espacial 10 y 20 m) a bordo del satélite Sentinel-2 A y B del Programa Copernicus (CE/ESA).

5. Datos económicos

Es necesario modelizar el suministro de recursos hídricos para diversos usos desde diferentes orígenes de forma que se satisfagan las demandas con un coste mínimo. Para cada uno de los ámbitos territoriales identificados se ha de tratar de optimizar los recursos actuales y los potencialmente disponibles con el fin de satisfacer de manera eficiente los distintos tipos de demanda. Se pretende corregir los posibles desequilibrios

hídricos a través de una gestión sostenible tanto de la oferta como de la demanda de agua, para lo que es necesario:

- Un análisis de las fuentes de agua.
- Establecer los usos y demandas de agua
- Diseñar técnicas de análisis de costes en la oferta y demanda de agua
- Realizar una valoración monetaria de las externalidades en el ciclo integral del agua
- Establecer modelos de optimización y viabilidad económica de las actuaciones

Análisis de las fuentes de agua. Desde el punto de vista de la oferta se consideran tanto los recursos actuales como los disponibles en un futuro según las previsiones existentes sobre todo en cuanto al uso del agua regenerada. En cada caso se han de tener en cuenta los costes de obtención de los nuevos recursos. Desde una óptica de demanda se han de abordar los usos actuales, los requerimientos de calidad en cada caso, las posibilidades de ahorro, así como las previsiones sobre nuevas necesidades, estacionalidad de la demanda y usos potenciales. Por lo que se refiere al uso de agua regenerada se ha de considerar tanto el caso de instalaciones de tratamiento ya existentes y que, por tanto, solamente se requiera la inversión en un proyecto de reutilización o bien, que se necesite un proyecto global de tratamiento y reutilización. En todos los casos la restricción vendrá dada por la cuantía máxima de agua residual disponible en función de la población residente en el área geográfica objeto de estudio.

Usos y demandas. Se han de conocer los patrones básicos de comportamiento de la demanda doméstica de agua en las áreas territoriales objeto de estudio. Las variables que habitualmente se contemplan en los modelos que tratan de determinar los factores explicativos del consumo urbano de agua son el precio, la capacidad adquisitiva, factores sociodemográficos relacionados con la composición de la familia y el modo de vida, la climatología y la gestión empresarial. Como variables representativas del poder adquisitivo de los usuarios suelen utilizarse la renta disponible por la unidad familiar, la renta per cápita o, incluso, el valor de la propiedad. De manera general se llega a la existencia de una relación positiva entre los niveles de renta y el consumo de agua, con valores de elasticidad inferiores a uno. Con relación a los factores sociodemográficos cabe tener en cuenta el número de habitantes por vivienda además de su edad y sexo. Asimismo, se introducen en este tipo de modelos variables climáticas relacionadas, por ejemplo, con las precipitaciones, la temperatura, el grado de humedad o el tiempo de luz solar. Por último, cabe contemplar aspectos relacionados con la gestión empresarial como los criterios de tarificación o la frecuencia de facturación. El análisis de la incidencia de estos elementos sobre las decisiones de consumo resulta de gran interés de cara a promover la adopción de medidas que propicien el ahorro en el consumo.

Dado que habitualmente el consumo agrícola representa el uso mayoritario del agua se requiere un estudio detallado de los métodos de riego, tipología de cultivos, posibilidades de ahorro y políticas de fijación de precios. La facilidad o dificultad para obtener el agua ocasionará un mayor o menor coste de la infraestructura necesaria. En el caso de la agricultura, los escenarios son muy distintos dependiendo de que el agua proceda de la superficie, de acuíferos o de fuentes no convencionales. Por ejemplo, las aguas superficiales suelen estar muy subsidiadas mientras que en el caso del agua

subterránea los agricultores deben afrontar los costes de la infraestructura de bombeo, energía, etc. En lo que se refiere a los recursos no convencionales habría que garantizar el cumplimiento de una serie de parámetros de calidad, sobre todo para el agua regenerada, además de contar con la correspondiente aceptación social.

Técnicas de análisis de costes en la oferta y demanda de agua . Se ha de plantear un modelo de optimización donde se minimice el coste del suministro de agua para atender a las diferentes demandas de tipo doméstico, agrícola e industrial. En cada uno de los casos se han de construir funciones de coste junto con un árbol de escenarios teniendo en cuenta previsiones de tipo meteorológico, demográfico y económico. Además, en el modelo que se plantea se podrán incorporar nuevas variables e indicadores tales como:

- Restricciones sobre la calidad: Su incorporación se debe a que la oferta de agua desde los distintos orígenes tiene diferentes niveles de calidad y las demandas tienen, a su vez, requerimientos específicos.
- Acuerdos previamente establecidos en cuanto a precios y cantidades máximas ofrecidas.
- Impacto ambiental asociado a la obtención de agua en cada uno de los orígenes.
- Restricciones vinculadas a la normativa reguladora.

Valoración monetaria de las externalidades en el ciclo integral del agua . El enfoque de la valoración económica de los beneficios ambientales es de tipo marginalista. Así, un cambio marginal en el beneficio ambiental está asociado a la mayor disponibilidad de agua para riego, lo cual supone un impacto positivo sobre la conservación y continuidad de las masas de agua superficiales y subterráneas. El fundamento de las metodologías de valoración económica del beneficio ambiental consiste en cuantificar ese cambio marginal en términos monetarios para que pueda ser incluido en los procesos de toma de decisiones. Tradicionalmente se han implementado los Métodos de Preferencias Declaradas, los cuales, mediante datos experimentales, estiman el beneficio ambiental derivado de los servicios ecosistémicos a través de la creación de un mercado hipotético (elaboración de un cuestionario o entrevista). En este caso se plantea el uso de nuevas metodologías basadas en el cálculo de los precios sombra. Este concepto tiene en cuenta los outputs no deseados, es decir, aquellos elementos derivados de las actividades humanas que carecen de valor de mercado, pero cuyo impacto ambiental es significativamente alto, por lo que pasan a considerarse como una externalidad negativa. La particularidad de este método radica en que esos outputs no deseables se corresponden con un efecto negativo del proceso productivo por lo que, su valor es equivalente al beneficio que se obtendría por evitar su liberación al medio ambiente.

Modelos de optimización y viabilidad económica de las actuaciones .Se considera que los crecientes problemas hídricos existentes en numerosas áreas de nuestra geografía junto con los requerimientos derivados de la Directiva Marco del Agua exigen una solución global que incluya la totalidad de fuentes disponibles y el conjunto de usos existentes en un territorio a través de una herramienta de optimización de costes que garantice la eficiencia en la gestión de los recursos actuales y futuros. Es decir, para cada uno de los ámbitos territoriales identificados se ha de tratar de optimizar los recursos hídricos actuales y los potencialmente disponibles con el fin de satisfacer de manera eficiente los distintos tipos de demanda. Se ha de estudiar la viabilidad económica de las actuaciones

previstas mediante un análisis coste-beneficio incluyendo la valoración de las externalidades ambientales y sociales.

Por otro lado, aunque son evidentes los beneficios de la reutilización del agua resulta igualmente cierto que las variables económicas, tales como los costes y el precio del agua regenerada van a ser determinantes en su implementación. Una aplicación estricta del principio de recuperación de costes sugiere que el usuario privado debe cubrir el coste total del proyecto de reutilización. Sin embargo, la intervención de la administración pública se podría justificar ya que se generan externalidades positivas que mejoran el bienestar social. De este modo, los gobiernos podrían contribuir a financiar y mantener este tipo de proyectos.

En este sentido, se debería llevar a cabo un análisis en profundidad de los recursos de agua en un área territorial con el fin de establecer un umbral de rentabilidad en términos técnicos y económicos que convierta la reutilización en una opción atractiva frente a otras alternativas. Ello requiere conocer la estructura de costes asociados a cada una de las fuentes de agua teniendo en cuenta el valor de las externalidades y los costes de oportunidad generados.

A la hora de abordar un análisis comparativo de los costes asociados a cada fuente de agua deberían considerarse las siguientes variables: el consumo de energía para el bombeo y distribución de agua, mantenimiento de pozos y tuberías para los recursos convencionales; los gastos de personal, mantenimiento, productos químicos y energía para el agua regenerada. En el caso del tratamiento de las aguas residuales debemos tener en cuenta que la estructura de costes varía dependiendo del tamaño de la planta. La determinación de un umbral de rentabilidad nos daría el tamaño mínimo de una planta que garantizaría el uso competitivo del agua regenerada.

A partir de ahí conviene analizar los mecanismos de fijación de precios con el fin de evaluar las posibilidades reales de la demanda de agua regenerada. Un estudio de la rentabilidad y los posibles incentivos aplicados ayudaría a determinar la verdadera potencialidad de la reutilización como alternativa a los recursos convencionales. En este contexto, es necesario tener en cuenta que el agua potable se encuentra a menudo subvencionada. De hecho, si el principio de recuperación de costes se aplicara de manera estricta tanto al sector del abastecimiento como a la reutilización y quedara reflejado en su respectivo sistema de tarifas, la competitividad del agua regenerada mejoraría significativamente.

Nueva perspectiva de economía circular en la gestión del agua. Resulta conocido que durante las últimas décadas la escasez de un recurso básico como es el agua se está acentuando en muchas áreas territoriales (por ejemplo, en la Comunidad Valenciana), lo que representa graves efectos sobre nuestro medio ambiente y nuestra economía. Además, según las previsiones actuales la demanda mundial de agua excederá los recursos disponibles en un 40 % en 2030. Por ello, aparte de adoptar medidas de eficiencia hídrica, conviene abordar la reutilización de las aguas residuales tratadas como un medio seguro y viable de aumentar el suministro de agua reduciendo la presión sobre unos recursos hídricos ya sobreexplotados.

Se exige reconsiderar nuestro enfoque tradicional sobre el consumo de agua con el fin de adoptar nuevas estrategias que posibiliten que este recurso vital sea reutilizado al máximo. Este cambio de paradigma supone avanzar hacia un enfoque de economía circular en que las aguas residuales ya no son vistas como desechos, sino como un recurso valioso en un contexto de escasez de agua. Una combinación de regulaciones, incentivos y la intervención de todos los actores implicados será clave para la transformación del sector del agua.

A su vez, la reutilización del agua en la agricultura también contribuye al reciclado de nutrientes promoviendo un menor uso de fertilizantes químicos. Estos efectos se muestran especialmente relevantes en el caso de la Comunidad Valenciana. Por todo ello, la promoción del sector de la reutilización de las aguas residuales tratadas, debería contar con un especial protagonismo en el marco de la economía circular.

Herramientas de ayuda a la toma de decisiones. Es evidente que cuando se lanza una nueva propuesta tecnológica o proyecto de recuperación o valorización de subproductos industriales o del agua residual se requiere, en muchas ocasiones, superar una serie de reticencias o barreras que siempre favorecen el inmovilismo frente a este tipo de actuaciones. Con el fin de demostrar los beneficios asociados a un proyecto de economía circular se propone la aplicación de unas técnicas de análisis de decisión multicriterio que nos permitirán comparar el escenario en el que se aplica nuestra propuesta con la opción de no actuar, es decir, se relaciona el “coste de la inacción con respecto al coste de la acción” (CNA-CA).

Ello permitirá demostrar el hecho de que no actuar sobre el proceso industrial genera elevadas ineficiencias que se traducen en importantes costes tanto económicos como sociales y ambientales y que, deberían ser tenidos en cuenta a la hora de analizar la viabilidad del proyecto propuesto.

Es cierto que, aunque la aplicación de la metodología del coste-beneficio nos permitirá justificar la viabilidad de un proyecto de economía circular en el ámbito industrial, los procesos de evaluación son complejos y suelen generar inconvenientes a la hora de tomar decisiones. Con el fin de paliar las dificultades de aplicación de las metodologías anteriormente expuestas se tratará de avanzar en el diseño de una herramienta Decision Support System (DSS) como un instrumento eficaz para desarrollar estudios de viabilidad de cualquier inversión propuesta en el campo de los procesos industriales. En un entorno basado en un Cuadro de Mandos, los resultados del DSS servirán para evaluar de manera práctica no sólo la viabilidad de medidas concretas de ahorro energético o recuperación de subproductos, sino también la propia mejora en la rentabilidad de los procesos analizados.

Además hay que resaltar que desde el punto de vista de la innovación, la gestión integral de las cuencas hidrográficas puede ser abordada considerando diversas capas de conocimiento. Se trata de cinco ámbitos de innovación que se refieren y afectan a la toma de datos, la ingeniería y las tecnologías necesarias para el análisis, la planificación de medidas, la ejecución de infraestructuras e instalaciones, así como procesos de operación, seguimiento y control que forman parte de la gestión del ciclo de utilización del agua [IDIAGUA]. La captación de los datos, a ser posible en tiempo real

resulta fundamental en los procesos de información y de generación de conocimiento que fundamentan la planificación y la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos. Los métodos, elementos y sistemas que se utilizan para la obtención de datos cuantitativos y cualitativos, ambientales y socioeconómicos, corresponden a muy diversos campos científicos y tecnológicos, siendo los más destacables:

- Medidores y contadores de agua. Basados en componentes y tecnologías avanzadas (electrónicas, ultrasónicas, etc.) La medición del consumo del agua, además de favorecer una gestión eficiente, es una condición necesaria a la hora de poder aplicar, con seguridad jurídica la repercusión de los costes de los servicios del agua.
- Toma de datos por control remoto de consumos y detección de fugas.
- Sensores in situ. Nuevos desarrollos de sensores, biosensores y redes de sensores distribuidos de bajo coste, destinados a medir variables meteorológicas, físico-químicas del agua y de otros recursos naturales (suelo, estado de la vegetación, etc.), y de seguimiento del buen estado de las masas de agua y otros.
- Sensores espaciales y drones. Desarrollo de sensores ópticos y multiespectrales remotos y nuevas aplicaciones de captación de datos satelitales para su utilización en el seguimiento del estado de los recursos e infraestructuras de la cuenca hidrográfica, así como nuevas aplicaciones de software y hardware basadas en el uso de drones.
- Sistemas de muestreo. De entre la amplia gama de métodos, protocolos, procedimientos y sistemas de muestreo y de análisis biológico y químico, se requiere avanzar en aquellos que facilitan un mejor conocimiento rápido, seguro y económico de las muestras de agua y de otros recursos ambientales asociados al ciclo del agua.
- Datos socioeconómicos. Nuevos métodos y aplicaciones para la captación de datos de carácter social y económico y territorial útiles para la planificación y la toma de decisiones de gestión.

Los aspectos ambientales más importantes a tener en cuenta serán calidad y consumo de los diferentes tipos de agua y su incidencia en el buen estado de las masas de agua. Los parámetros y métodos recomendados para dar respuesta a estos indicadores son los siguientes:

- Detección de desequilibrios hídricos espaciales y temporales a través de datos de teledetección. Relacionado con los recursos naturales en el ciclo integral del agua
- Puntos calientes de erosión y contaminación de suelos a través de datos de programas de control y vigilancia y de teledetección. Relacionado con los recursos naturales en el ciclo integral del agua
- Calidad de las diferentes masas de agua y usos a través de datos in situ y a tiempo real y de programas de control y vigilancia. Relacionado con los recursos naturales, preutilización, utilización y reutilización en el ciclo integral del agua
- Datos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales a través de su balance energético. Relacionado con la utilización y reutilización en el ciclo integral del agua.

El último informe del Instituto Nacional de Estadística (INE) referente a la encuesta sobre agua se realizó en 2014 (https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176834&menu=ultiDatos&idp=1254735976602) establece que las comunidades que más incrementaron el volumen de agua registrado y distribuido durante el año 2014 fueron

Castilla y León (7,2%), Principado de Asturias (5,2%) y Comunitat Valenciana (4,9%), ocupando nuestra Comunidad la cuarta posición en España (ver [Tabla 6](#)). Las comunidades con mayores consumos municipales fueron Andalucía (19,1% del total), Comunitat Valenciana (15,5%) y Cataluña (10,6%) ([Tabla 7](#))

Volúmenes de agua registrados y distribuidos por comunidad autónoma
Unidad: miles de m³

	Año 2014	% sobre el total	% variación anual
Andalucía	557.113	17,3	1,8
Aragón	97.052	3,0	1,7
Asturias, Principado de	78.790	2,5	5,2
Balears, Illes	85.556	2,6	0,7
Canarias	144.545	4,5	-8,8
Cantabria	48.087	1,5	0,7
Castilla y León	228.279	7,1	7,2
Castilla-La Mancha	147.301	4,6	-8,2
Cataluña	457.383	14,2	-0,9
Comunitat Valenciana	381.995	11,9	4,9
Extremadura	67.890	2,1	-2,5
Galicia	186.405	5,8	1,0
Madrid, Comunidad de	406.951	12,7	-1,8
Murcia, Región de	100.916	3,1	1,7
Navarra, Comunidad Foral de	48.367	1,5	0,2
País Vasco	146.602	4,6	-4,9
Rioja, La	22.051	0,7	-7,7
Ceuta y Melilla	8.751	0,3	-0,2
Total nacional	3.214.034	100	0,1

Tabla 6. Volumen de agua registrados y distribuidos en 2014, últimos datos INE

Volúmenes de agua registrados y distribuidos por tipo de usuario y comunidad autónoma.

Año 2014

Unidad: miles de m³

	Hogares	% sobre el total	Sectores económicos	% sobre el total	Consumos municipales	% sobre el total
Andalucía	386.102	17,3	115.286	16,8	55.725	19,1
Aragón	62.877	2,8	25.278	3,7	8.897	3,1
Asturias, Principado de	51.503	2,3	19.466	2,8	7.821	2,7
Balears, Illes	50.653	2,3	30.296	4,4	4.607	1,6
Canarias	110.975	5,0	23.477	3,4	10.093	3,5
Cantabria	32.441	1,4	14.409	2,1	1.237	0,4
Castilla y León	150.370	6,7	56.359	8,2	21.550	7,4
Castilla-La Mancha	94.482	4,2	35.120	5,1	17.699	6,1
Cataluña	318.709	14,2	107.734	15,7	30.940	10,6
Comunitat Valenciana	292.516	13,1	44.282	6,5	45.197	15,5
Extremadura	49.882	2,2	6.524	1,0	11.484	3,9
Galicia	128.722	5,8	41.160	6,0	16.523	5,7
Madrid, Comunidad de	304.840	13,6	73.898	10,8	28.213	9,7
Murcia, Región de	67.354	3,0	24.253	3,5	9.309	3,2
Navarra, Comunidad Foral de	25.757	1,2	14.085	2,1	8.525	2,9
País Vasco	91.899	4,1	45.211	6,6	9.492	3,3
Rioja, La	12.180	0,5	7.312	1,1	2.559	0,9
Ceuta y Melilla	6.484	0,3	691	0,1	1.576	0,5
Total nacional	2.237.746	100	684.841	100	291.447	100

Tabla 7. Volumen de agua registrados y distribuidos en 2014 en función del uso, últimos datos INE.

La **Tabla 8** indica que el consumo por hogar en nuestra comunidad también ha crecido y es uno de los más altos de España, concretamente ocupa la segunda posición. El precio unitario es también elevado (ver **Figura 14**) y superior al promedio. El volumen de aguas depurado es bajo según los datos del INE (**Figura 15**).

Consumo medio de agua de los hogares por comunidad autónoma
Unidad: litro/habitante/día

	Año 2014	% variación anual
Andalucía	126	5,0
Aragón	130	0,8
Asturias, Principado de	134	9,8
Balears, Illes	124	-12,1
Canarias	144	0,7
Cantabria	152	5,6
Castilla y León	166	5,7
Castilla-La Mancha	125	-10,7
Cataluña	118	-0,9
Comunitat Valenciana	162	2,5
Extremadura	125	10,7
Galicia	129	8,4
Madrid, Comunidad de	131	0,0
Murcia, Región de	126	1,6
Navarra, Comunidad Foral de	111	-0,9
País Vasco	116	-5,7
Rioja, La	106	5,4
Ceuta y Melilla	105	1,5
Consumo medio nacional	132	1,5

Tabla 8. Consumo medio de agua de los hogares en 2014, últimos datos INE.

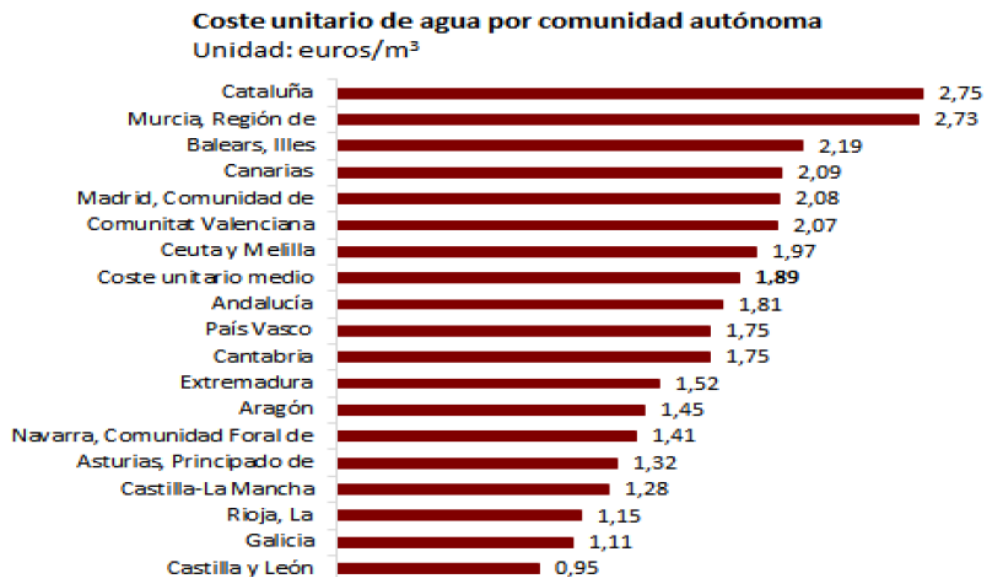


Figura 14. Coste unitario de agua en 2014, últimos datos INE.

Comunidades y ciudades autónomas, 1. Volumen de aguas residuales depuradas, 2014


Figura 15. Indicadores sobre aguas residuales depuradas por comunidades y ciudades autónomas. Unidades: m³/habitante/día en 2014, últimos datos INE.

Otro de los conceptos a considerar es el de **ciudad sensible al agua** que ha de ser resiliente, habitable, productiva y sostenible [Simon et al., 2017]. La adopción de prácticas holísticas e integradas de gestión del ciclo del agua para satisfacer las necesidades de agua y habitabilidad de una ciudad es fundamental. Una ciudad sensible al agua mejora el ciclo hidrológico urbano al: proporcionar seguridad hídrica para la prosperidad económica a través del uso eficiente de diversos recursos hídricos; mejorar y proteger la salud de los cursos de agua y humedales; mitigar el riesgo de inundaciones y daños; y creando espacios públicos que cosechan, limpian y reciclan el agua. Los valores organizativos y comunitarios también desempeñan un papel importante en una ciudad sensible al agua al influir en las decisiones de diseño urbano y las prácticas de gestión del agua.

En la última década, los efectos adversos del cambio climático se han hecho más evidentes para la población y los perjuicios originados por los eventos extremos son cada vez más frecuentes y de una mayor envergadura, por lo que los procesos de gobernanza están cambiando hacia la búsqueda de comunidades locales o regionales más resilientes. Por ello, más que los procesos de lucha o mitigación, es la adaptación al cambio climático la verdadera piedra de toque de la toma de decisiones por parte de las autoridades.

En la Comunidad Valenciana, uno de los efectos más tangibles del cambio climático está relacionado con la precipitación, tanto en lo referido con la cantidad como con la frecuencia de las mismas y su distribución a lo largo del año. Un análisis somero a los últimos 30 años de precipitación, nos indica que los eventos extremos han aumentado en los últimos años y su magnitud, siendo su intensidad cada vez más variable. Por otro lado, la desestacionalización de los eventos extremos, antes concentrados en unos meses determinados (septiembre-octubre) y ahora repartidos a lo largo del año, dificultan la planificación.

A nivel local, el desarrollo urbanístico producido en las décadas de los 80 y 90 en la Comunidad Valenciana ha aumentado el nivel de sellado de las ciudades y pueblos,

refiriéndonos a sellado como la construcción de estructuras duras y poco permeables que impermeabilizan el terreno. La proliferación de estructuras poco permeables en las ciudades, como calles, avenidas o grandes aparcamientos generan grandes perjuicios a los ciudadanos cuando los eventos extremos suceden de forma inesperada, provocando inundaciones, zonas transitables con agua estancada o cortes de las comunicaciones. Las autoridades locales, preocupadas por los problemas que generan estas situaciones a las comunidades y por el gasto que generan en mantenimientos y actuaciones de emergencia, están comenzando a comprender que es necesario un proceso de adaptación de sus urbes a la incuestionable realidad del cambio climático.

El Ayuntamiento de Burjassot ha valorado que, ante los problemas que se estaban generando en los últimos años en forma de inundaciones y diferentes problemas logísticos durante eventos extremos, el enfoque de la solución debía ser diferente al que se había tenido en los últimos años. En este caso, el hacer más resiliente al municipio frente al cambio climático estaba relacionado con ahondar en como hacer más sostenible todo el sistema de drenaje de la precipitación, lo que comúnmente se conoce como Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (en adelante SUD's) (Lopez Baeza et al., 2018).

De este modo, mediante la colaboración con la Universidad de Valencia (López Baeza et al., 2017), se está desarrollando un enfoque completamente original e innovador, integrando recursos científico-técnicos convencionales con técnicas de teledetección de alta resolución temporal, incluyendo la información disponible sobre hidrogeología, litología, cuencas y subcuencas, masas de agua subterráneas, etc., estudios retrospectivos de las series de precipitaciones e inundaciones anteriores y su impacto en el Municipio de Burjassot mediante datos de teledetección, evolución del desarrollo urbanístico incidiendo en el crecimiento de superficies selladas e impermeabilizaciones con datos de teledetección de alta resolución, la utilización de un modelo digital de elevaciones tridimensional. Con toda la información analizada e integrada, un modelo de escorrentía urbana podría realizar simulaciones con diferentes escenarios sobre todo el municipio, evaluando el impacto de diferentes eventos de precipitaciones extremas que pueden producir inundaciones en diferentes áreas locales. Toda esta metodología permitiría a las autoridades locales de Burjassot, poder tomar decisiones sobre que tipo de SUD's (jardines de lluvia, biofiltros, cunetas verdes, estructuras semipermeables, infraestructuras verdes filtrantes, etc.) son más adecuadas y donde su rendimiento sería más alto, pudiendo realizar simulaciones sencillas de eventos extremos y analizando su comportamiento.

La mejora de la permeabilización de un municipio como Burjassot es algo que es indudablemente necesario, pero con este proyecto, se pretende que los gestores del ayuntamiento posean la información y las metodologías necesarias que les permita la mejor toma de decisiones posible. Hacer nuestras ciudades más resilientes es un proceso necesario, pero debe ser guiado apoyándose en los recursos científico-técnicos más vanguardistas para que la adaptación al cambio climático sea realmente exitosa (Figuras 16 y 17).

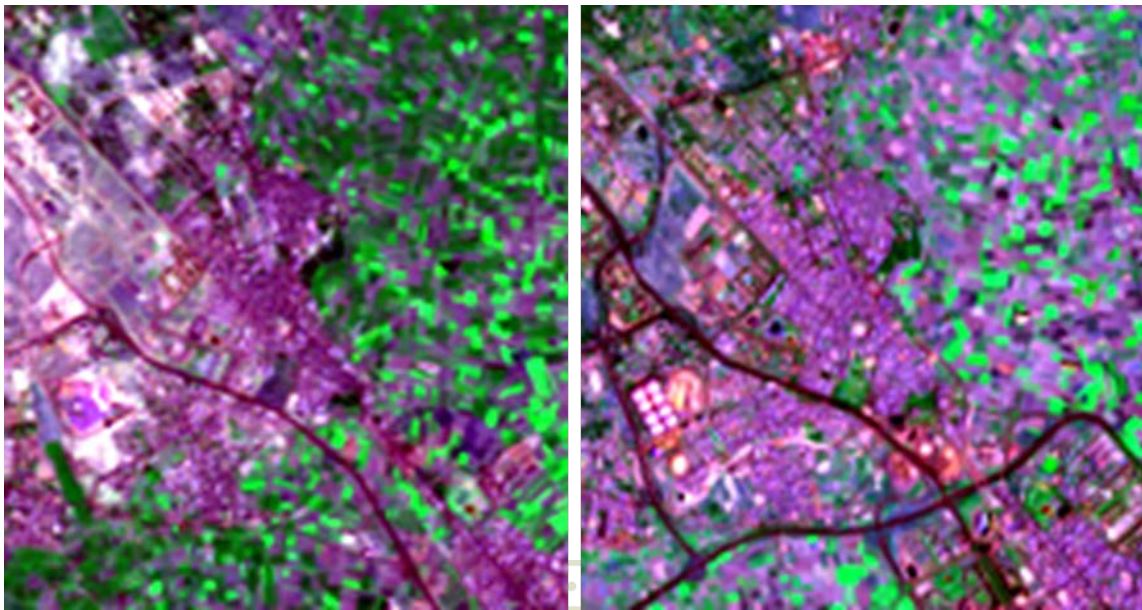


Figura 16. Resalte de la vegetació mostrant el contrast entre la imatge de 1984 obtinguda de Landsat 5TM (esquerra) i la imatge de 2017 obtinguda de Landsat 8 (dreta).

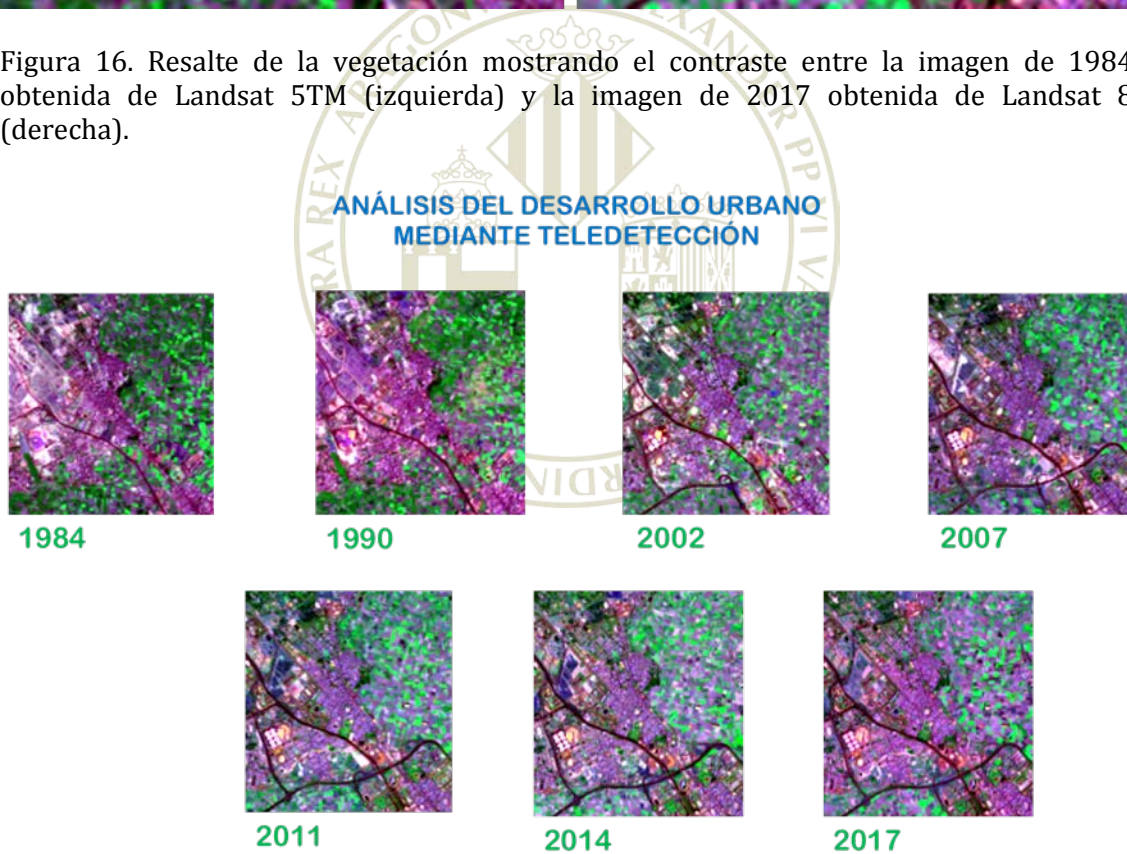


Figura 17. Evolució de les zones verdes del Municipi de Burjassot des de 1984 fins a 2017, obtinguda mitjançant el processament d'imatges del satèl·lit Llandsat

La Figura 18 mostra la classificació supervisada de usos del sòl del Municipi de Burjassot (17 de desembre de 2017), amb una resolució espacial de 10 m, obtinguda a

partir de datos del satélite Sentinel-2 del Programa Copernicus de la Comisión Europea y la Agencia Europea del Espacio. Los usos del suelo obtenidos son: sin datos, áreas iluminadas y con sombras, carreteras, suelo desnudo, zonas urbanas y zonas con vegetación

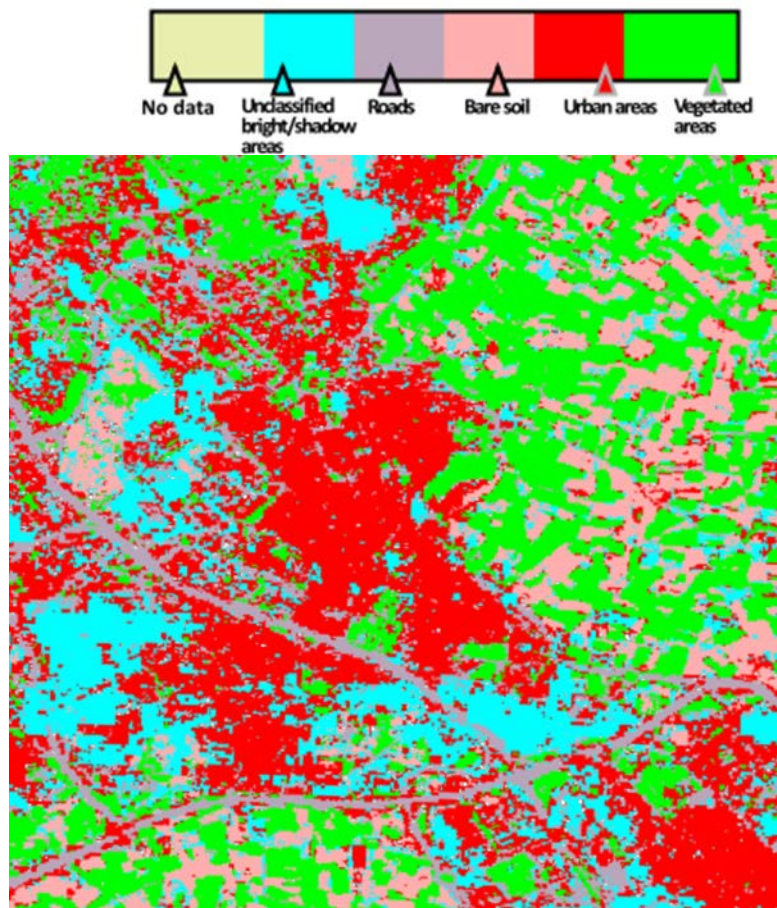
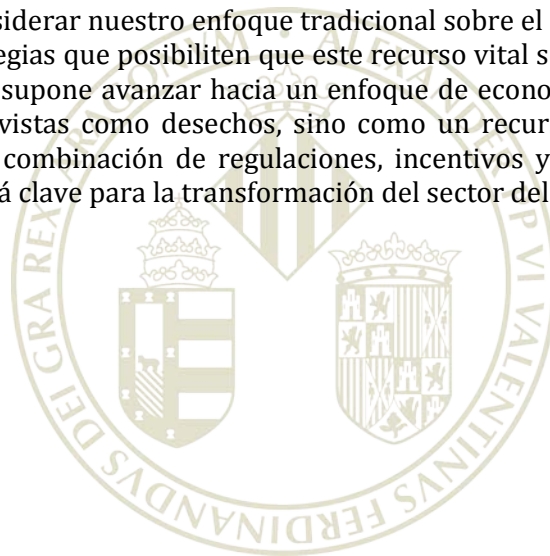


Figura 18. Clasificación supervisada de usos del suelo del Municipio de Burjassot (17 de diciembre de 2017), con una resolución espacial de 10 m, obtenida a partir de datos del satélite Sentinel-2 del Programa Copernicus de la Comisión Europea y la Agencia Europea del Espacio

9. Conclusiones y Recomendaciones

- La consecución del buen estado de las masas de agua es un elemento imprescindible para el buen funcionamiento del ciclo integral del agua.
- Las exigencias de la Directiva Marco del Agua, así como las de las zonas protegidas, requieren una planificación adecuada de la evaluación del estado de las masas de agua y las zonas protegidas, y una ligazón a un programa de medidas que permitan la consecución de los objetivos marcados por la legislación, debiendo integrarse todo ello en la gestión del ciclo integral del agua.
- La aplicación del principio de subsidiariedad de la DMA, debe favorecer el desarrollo de una gobernanza del agua más integrada y participativa. Las nuevas tecnologías y sistemas de vigilancia y de gestión, pueden contribuir a paliar los efectos del cambio climático y los fenómenos meteorológicos extremos; el estrés en los ecosistemas; las nuevas demandas de hídricas y los riesgos de enfermedades y plagas.
- El cambio climático está intensificando o “acelerando” el ciclo global del agua mediante el aumento de las tasas de evaporación del océano, la evapotranspiración terrestre, y la precipitación. Algunos autores proponen cuantificar la intensidad del ciclo del agua terrestre, ilustrando un modelo de balance de agua distribuido espacialmente.
- Los aspectos ambientales más importantes a tener en cuenta serán calidad y consumo de los diferentes tipos de agua y su incidencia en el buen estado de las masas de agua. Los parámetros y métodos recomendados para dar respuesta a estos indicadores son los siguientes:
 - Detección de desequilibrios hídricos espaciales y temporales a través de datos de teledetección, dado que se relacionan con los recursos naturales en el ciclo integral del agua.
 - Puntos calientes de erosión y contaminación de suelos a través de datos de programas de control y vigilancia y de teledetección. Relacionado con los recursos naturales en el ciclo integral del agua.
 - Calidad de las diferentes masas de agua y usos a través de datos in situ y a tiempo real y de programas de control y vigilancia. Relacionado con los recursos naturales, preutilización, utilización y reutilización en el ciclo integral del agua.
 - Datos de tecnologías de tratamiento de aguas residuales a través de su balance energético. Relacionado con la utilización y reutilización en el ciclo integral del agua.
- Un concepto a integrar es el de ciudad sensible al agua que ha de ser resiliente, habitable, productiva y sostenible. La adopción de prácticas holísticas e integradas de gestión del ciclo del agua para satisfacer las necesidades de agua y habitabilidad de una ciudad es fundamental. Una ciudad sensible al agua mejora el ciclo hidrológico urbano.

- El último informe del Instituto Nacional de Estadística (INE) referente a la encuesta sobre agua realizado en 2014, establece que nuestra Comunidad está entre las que más incrementaron el volumen de agua registrado y distribuido durante el año 2014 (4,9%), consumo municipal (15,5%), el consumo por hogar en nuestra comunidad también ha crecido y es uno de los más altos de España, concretamente ocupa la segunda posición. El precio unitario es también elevado y superior al promedio. El volumen de aguas depurado es bajo según los datos del INE.
- En la última década, los efectos adversos del cambio climático se han hecho más evidentes para la población y los perjuicios originados por los eventos extremos son cada vez más frecuentes y de una mayor envergadura, por lo que los procesos de gobernanza están cambiando hacia la búsqueda de comunidades locales o regionales más resilientes. Por ello, más que los procesos de lucha o mitigación, es la adaptación al cambio climático la verdadera piedra de toque de la toma de decisiones por parte de las autoridades.
- Se exige reconsiderar nuestro enfoque tradicional sobre el consumo de agua con el fin de adoptar nuevas estrategias que permitan que este recurso vital sea reutilizado al máximo. Este cambio de paradigma supone avanzar hacia un enfoque de economía circular en que las aguas residuales ya no son vistas como desechos, sino como un recurso valioso en un contexto de escasez de agua. Una combinación de regulaciones, incentivos y la intervención de todos los actores implicados será clave para la transformación del sector del agua.



BIBLIOGRAFÍA

Alibrahim Z.O., Williams C.D., Roberts C.L. (2017) GIS-Based spatial distribution and evaluation of selected heavy metals contamination in topsoil around Ecton mining area, Derbyshire, UK. *International Journal of environmental, Chemical, Ecological, geological and Geophysical Engineering*. 11:365-376.

APHA, AWWA, WEF (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, Washington D.C.

Ayers R.S. and Wescot D.W. *Water quality for agriculture*. FAO irrigation and drenaje paper. 1994. 29 Rev. 1. FAO, Roma.
<http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E00.htm>.

BOE (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. BOE núm. 229, de 22 de septiembre de 2008, pp. 38472-38582.

BOE (2015) Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. BOE nº 219, de 12 de septiembre de 2015, pp. 80582-80677.

Boluda R., Marimon L., Atzeni S., Mormeneo S., Iranzo M., Zueco J., Gamón M., Sancenón J., Romera D., Gil C., Soriano M.D., Granell C., Roca N., Bech J. (2013a) Occurrence of emerging contaminants in agricultural soils, sewage sludge and waters in Valencia (E Spain). *Geophysical Research Abstracts*.

Borrelli P., Panagos P., Marker M., Modugno S., Schütt B, (2017). Assessment of the impacts of clear-cutting on soil loss by water erosion in Italian forests: First comprehensive monitoring and modelling approach. *Catena*. 149:770-781.

Camacho, A., Borja, C., Valero-Garcés, B., Sahuquillo, M., Cirujano, S., Soria, J.M., Rico, E., de la Hera, A., Santamans, A.C., García de Domingo, A., Chicote, A. y Gosálvez, R.U. (2009). 31. Aguas continentales retenidas. Ecosistemas leníticos de interior. En: *VVAA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Disponible on line en:
http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-prottegidos/31_tcm7-24056.pdf.

Camacho, A. (2013a). Clasificación y tipificación de ecosistemas para la elaboración del CEHPD: 1.3.2. Ecosistemas leníticos (de interior). Informe inédito. Universidad de Valencia – SOS Natura 2000 – TRAGSATEC.

Camacho, A.; M. Batlle, E. Correcher, A. Picazo, C. Rochera and R. Álvarez-Troncoso. (2013b). New technologies for water quality monitoring in dams: Limnological contrast and calibration in Mediterranean reservoirs. En: Wintera, J.; A. Kosik & A. Wity, Dams: safety and Development Direction, Monography of the Polish Institute of Meteorology and Water Management, National Research Institute. Varsovia, Polonia.

CEDEX (2008) Tipología de las masas de agua de la categoría “Lagos”. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

CEDEX (2010). Establecimiento de condiciones de referencia y valores frontera entre clases de estado ecológico en masas de agua de la categoría lago para los elementos de calidad “Composición, abundancia y biomasa de fitoplancton” y “Composición y abundancia de otro tipo de flora acuática”, en aplicación de la Directiva Marco del Agua. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Madrid.

DOCE (1992). Directiva 92/43/CEE relativa a la protección de los hábitats y especies Diario Oficial de la Comunidad Europea nº 206 del 22 de julio, pp 7-50.

DOCE (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de la Comunidad Europea nº 327 del 22 de diciembre, pp 1-73. (Modificada por la Directiva 2008/105/CE de 16 de diciembre de 2008, del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas -DNCA-. La DNCA ha sido modificada por la Directiva 2013/39/UE de agosto de 2013).

EC (European Commission). Soil Protection. The story behind the Strategy. 2006. <http://ec.europa.eu/environment/archives/soil/pdf/soillight.pdf>

EC (European Commission). Evaluation of soil protection aspects in certain programmes of measures adopted by Member States. 2016. http://ec.europa.eu/environment/soil/study1_en.htm.

Erazo Ceballos, K. (2018). Evaluación y seguimiento de la calidad de las aguas en el área costera valenciana mediante productos Copernicus de Sentinel-2 y Sentinel-3. Tesis de Master en Teledetección dirigida por el Dr E. López Baeza. Facultad de Física, Universidad de Valencia, Septiembre 2018.

Gil C., Boluda R., Rodríguez-Martín J.A., Guzmán M., del Moral F., Ramos - Miras J. (2018). Assessing soil contamination and temporal trends of heavy metal contents in greenhouses on semiarid land. *Land Degradation & Development*, 29: 3344 - 3354.

Huntington T.G., Weiskel, P.K., Wolock, D.M., McCabe, G.J., (2018). A new indicator framework for quantifying the intensity of the terrestrial water cycle. *J. Hidrol.* 559, 361-372.

Idiagua (http://www.mapama.gob.es/es/agua/temas/sistema-espaniol-gestion-agua/Lineas_estrategicas_innovacion_investigacion.aspx).

Iranzo M., Gamón M., Boluda R., Mormeneo S. (2018). Analysis of pharmaceutical biodegradation of WWTP sludge using composting and identification of certain microorganisms involved in the process. *Science of the Total Environment*, 640-641: 840 - 848.

Jornet-Martínez N., Moliner-Martínez Y., Molins-Legua C., Campíns-Falcó P. (2017). Trends in the development of devices for in-situ analysis (a9593). *Encyclopedia of Analytical Chemistry* (on line). Editor Dr Robert A. Meyers, (Dr. Miguel Valcarcel, editor invitado). John Wiley & Sons, Ltd., of the Atrium, Southern Gate Chichester, West Sussex P019 85Q, UK . DOI: 10.1002/9780470027318.a9593. Published March 25 2017.

Lopez Baeza E., Ansari A., Asadi E., Cespi D., Coll A., Cubillas C., Hernandez F., Loarte E., Pavia, A., Sanchez A., Sebastian A. (2016a). Earth Observation in Support of a Sustainable Water Sector, EIP Water Conference 2016 (European Innovation Partnership on Water), Side Meeting on Water Reuse - Status and Contribution to the EU Initiative. <http://www.slideshare.net/EIP-Water/earth-observation-for-sustainable-water> . Leeuwarden, The Netherlands, 9 Feb 2016.

Lopez Baeza E., Loarte E., Cespi D., Pavia A., Cubillas C., Coll A., Ansari R., Asadi E., Hernandez F. (2016b). "RESEWAM-O - Remote Sensing for Water Management Optimization". EIP Water Conference 2016 on "How is Water Innovation Succeeding in Europe?", Innovator Showcase Session in Pecha Kucha Style, Presentación invitada <http://www.slideshare.net/EIP-Water/remote-sensing-for-water-management-optimisation>.

López Baeza, E., C. Rivero Moro, E. Albero Peralta and D. Catalán Alcober (2017). Adaptación Urbana al Cambio Climático. Evaluación de la Red de Drenaje del Municipio de Burjassot y Propuesta de Mejora de su Eficacia y Sostenibilidad. Informe Final Fase I. Contrato entre el Ayuntamiento de Burjassot y la Universitat de València - Estudi General. Código 20170882, 14 de Diciembre 2017.

Lopez-Baeza, E., E. Albero-Peralta, C. Rivero Moro, T. Baur and R. Bansal (2018). Diagnosing the Burjassot Urban Drainage System. The Ever Growing Use of Copernicus Across Europe's Regions. A Selection of 99 User Stories by Local and Regional Authorities.

http://esamultimedia.esa.int/docs/EarthObservation/copernicus4regions_2018.pdf.

Mancinoa G., Nolèa A., Salvati L., Ferrara A (2016). In-between forest expansion and cropland decline: A revised USLE model for soil erosion risk under land-use change in a Mediterranean region. *Ecological Indicators*. 71:544–550.

MAPAMA (2013). Protocolos de muestreo, laboratorio y cálculo de índices. Disponibles on line en: <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/programas-eguimiento/protocolos-de-muestro-laboratorio-y-calculo-de-indices.aspx>.

MITECO (2018) Categorías y tipos de masas de agua. Ministerio para la Transición Ecológica, Gobierno de España. Disponible on line en: <https://www.miteco.gob.es/gl/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias-y-tipos-de-masas-de-agua/>.

Molins-Legua C, Meseguer-Lloret S, Moliner-Martinez Y , Campíns-Falcó P (2006). A guide for selecting the most appropriate method for ammonium estimation in water analysis. *TRAC* 25: 282-290.

Morassi G. (2016). Estimación del Índice de Sequedad Temperatura -Vegetación (TVDI), y su Evolución Temporal en la Región Centro Este de la República Argentina, para el Periodo 2013 - 2015. Tesis de Master en Teledetección Dirigida por el Dr E. Lopez Baeza. Dept Física de la Tierra y Termodinámica, Universidad de Valencia, Septiembre 2016.

Peña-Guzmán, C.A., Melgarejo, J., Prats, D., Torres, A., Martínez, S. (2017). Urban Water Cycle Simulation/Management Models: A Review. *Water* 9, 285; doi:10.3390/w9040285

Peiró Espí M. (2015). Propuesta de Medidas Adaptativas de la Ciudad de Valencia al Cambio Climático. Tesis del Master en Contaminación, Toxicología y Sanidad Ambientales. Dirigida por los Drs. E. López-Baeza y R. Montjo i Agut. Universidad de Valencia, Septiembre 2015.

Pla-Tolós J., Serra-Mora P., Hakobyan L., Molins-Legua C., Moliner-Martinez Y., Campins-Falcó P. (2016). A sustainable on-line CapLC method for quantifying

antifouling agents like irgarol- 1051 and diuron in water samples: Estimation of the carbon footprint. *Sci Total Environ.* 569-570: 611-618.

Ramos Muñoz, A. (2017). Estudio del sistema suelo-cultivo en los arrozales del Parque Natural de la Albufera de Valencia mediante teledetección y validación de un modelo para su seguimiento. Tesis de Máster en Contaminación, Toxicología y Sanidad Ambientales dirigida por los Dres. Rafael Boluda Hernández y Ernesto López Baeza. Facultad de Biología, Universidad de Valencia, Septiembre 2017.

Roberts, S., Morgan, C., Buck, S., Browne, D., James, E., Lloyd, S. (2017). Wyndham City Council IWM Plan. Wyndham Integrated Water Cycle Management Plan.

Rodríguez Martín J.A., Ramos-Miras JJ., Boluda R., Gil C. (2013). Spatial relations of heavy metals in arable and greenhouse soils of a Mediterranean environment region (Spain), *Geoderma.* 200–201:180-188.

Rodriguez Martin J.A., De Arana C., Ramos-Miras J.J. Boluda R.(2015). Impact of 70 years urban growth associated with heavy metal pollution. *Environmental Pollution* 196:156-163.

Rodríguez Martín J.A., Álvaro-Fuentes J., Gonzalo J., Gil C., Ramos-Miras J.J., Grau-Corbí J., Boluda R. (2016). Assessment of the soil organic carbon stock in Spain, *Geoderma.* 264, Part A:117-125.

Rojas Suárez, J.X. (2010). Aplicación de la Teledetección al estudio de las relaciones suelo-planta en los arrozales del Parque Natural de la Albufera de Valencia (España). Tesis de Máster en Contaminación y Toxicología Ambientales dirigida por los Dres. Rafael Boluda Hernández y Ernesto López Baeza. Facultad de Biología, Universidad de Valencia, Diciembre 2010.

Rutten, P.J.P. (2013). The urban water cycle: A case study of the Prinseneiland, Amsterdam. Master of Science Thesis. Delft University of Technology.

Sandholt, I., Rasmussen, K., and Andersen, J. (2002). A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status. *Remote Sensing of Environment*, 79: 213-224.

Segovia Martinez L. (2014) Tesis doctoral: Contribución al estudio de contaminantes orgánicos en el litoral de la Comunidad Valenciana. Valencia 2014. Directores: Pilar Campíns Falcó y Alberto Bouzas Blanco.

Serra-Mora P., Moliner-Martinez Y., Molins-Legua M., Herráez-Hernández R., Verdú-Andrés J., Campíns-Falcó P. (2017) Trends in on-line in-tube solid phase

microextraction. GREEN EXTRACTION TECHNIQUES: PRINCIPLES, ADVANCES AND APPLICATIONS, editors Elena Ibáñez and Alejandro Cifuentes. In Series COMPREHENSIVE ANALYTICAL CHEMISTRY, editor Damià Barceló. Elsevier B.V. Radarweg 29 Amsterdam 1043 NX, Netherlands. DOI: 10.1016/bs.coac.2017.01.002. Capítulo 14, pag. 427-461. ISSN 0166-526X. Comprehensive Analytical Chemistry, Volume 76, 2017, Pages 427-461.

Simón, J.C.; J. Cabello, A. Camacho, F.J. Gracia, A. Mellado, A. Pérez-Alberti H. Sainz, J. Templado y M. Toro (2012). Propuesta de clasificación jerárquica preliminar de los tipos de hábitat presentes en España. En: TRAGSATEC, Apoyo técnico para la elaboración del Catálogo Español de hábitats en peligro de desaparición. Encargo del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino a Tragsatec. Madrid, pp 35-263.

UVEG, 2016. CONVENIO ENTRE LA GENERALITAT A TRAVÉS DE LA CONSELLERIA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL Y LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA A RECURSOS HÍDRICOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA. Estudio multidisciplinar de la potencialidad de la reutilización de agua de la EDAR de Pinedo para uso agrícola (<http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163936896/Memoria-EDAR-PINEDO-DEF-UV/62a5e874-8a40-4159-b8b1-9ba3cfa9f2ba>).

UVEG, 2017. CONVENIO ENTRE LA GENERALITAT A TRAVÉS DE LA CONSELLERIA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO RURAL Y LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA PARA LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN APLICADA A RECURSOS HÍDRICOS EN LA COMUNITAT VALENCIANA. Estudio multidisciplinar para evaluar la presencia de posibles contaminantes y su trazabilidad en aguas regeneradas y en el medio costero marítimo. (<http://www.agroambient.gva.es/documents/163005665/163936896/Memoria-Agua-DEFINITIVA-2017/f3047082-9936-468e-bfda-d025e35834b3>)

Veettil, A.V., Mishra, A.K., (2018). Potential influence of climate and anthropogenic variables on water security using blue and green water scarcity, Falkenmark index, and freshwater provision indicator. J. Environ. Manage. 228, 346-362.

VV.AA., (2009). Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Disponible on line en: http://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_tip_hab_esp_bases_eco_preliminares.aspx.