

MATERIAS ESPECÍFICAS
A1. AGUAS Y OBRAS HIDRÁULICAS

MEA1T1. Marco normativo en materia de aguas en España

1. Marco normativo en materia de aguas en España. Elementos que regula el texto refundido de la Ley de Aguas

La ley 29/1985, que derogó la Ley de Aguas de 1879, estableció un nuevo régimen jurídico del Dominio Público Hidráulico conforme al sistema establecido por la Constitución en referencia a la distribución de competencias entre el Estado y las CCAA; configuró el agua como recurso unitario y renovable a través del ciclo hidrológico, sin distinguir aguas superficiales y subterráneas; legalizó un complejo proceso de planificación hidrológica; y vinculó la disponibilidad del recurso en cantidad suficiente a la exigencia de la calidad del mismo. Desde su promulgación hasta la actualidad esta ley ha sufrido multitud de modificaciones, siendo el texto legal vigente el Real Decreto Legislativo 1/2001 por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas, con sus modificaciones posteriores. El TRLA regula todas las aguas continentales (superficiales y subterráneas), excepto las aguas minerales y termales que tienen legislación específica y son de competencia autonómica.

La legislación de aguas se desarrolla con el Reglamento del DPH (RD 849/1986), el Reglamento de la Administración Pública del Agua (RD 927/1988) y el Reglamento de Planificación Hidrológica (RD 907/2007).

2. Organización de la Administración Hidráulica en España

En las cuencas intercomunitarias las competencias en materia de aguas las ejerce el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) a través de la D.G. del Agua y de las Confederaciones Hidrográficas, y en las cuencas intracomunitarias le corresponde a la administración hidráulica de la comunidad autónoma correspondiente.

3. Reglamento del Dominio Público Hidráulico. Dominio Público Hidráulico: aguas públicas y privadas

El Reglamento del DPH regula las materias relacionadas con la definición del DPH, su utilización y protección, incluidos sus regímenes de policía y económico-financiero. Además de las aguas continentales (superficiales y subterráneas), el DPH incluye los cauces de corrientes naturales (continuas y discontinuas), los lechos de lagos y embalses, los acuíferos y las aguas procedentes de la desalación de agua de mar.

Las aguas subterráneas son DPH, aunque con dos importantes derechos en favor del titular de la superficie: Aprovechamiento hasta 7.000 m³/año; y Autorización de investigación, y si ésta resulta favorable el propietario tiene un plazo de 6 meses para solicitar la concesión de aprovechamiento.

Las aguas privadas quedan como un concepto residual aplicable a las charcas situadas en predios de propiedad particular siempre que se destinen a su servicio exclusivo. Son de dominio privado los cauces por los que ocasionalmente discurran exclusivamente aguas pluviales en tanto atraviesen, desde su origen, únicamente fincas de dominio privado.

4. Utilización del Dominio Público Hidráulico: servidumbres, usos comunes y privativos, concesiones y autorizaciones, registro de aguas y régimen jurídico de las comunidades de usuarios

Servidumbres. Facilitan el uso de un bien de DPH por quien está legitimado para hacerlo e imponen una carga en el dominio al propietario de un predio (predio sirviente), en beneficio del propietario de otro predio (predio dominante). Las servidumbres se indemnizan, pueden revisarse y algunas lo pueden ser por interés privado. Pueden acordarse por los particulares o por disposición legal (servidumbres legales). El RDPH regula las siguientes servidumbres legales: de acueducto, de saca de agua o abrevadero, de estribo de presa, de parada o partidur, de depósito de materiales, y de paso.

Usos comunes. Beber, bañarse, abrevar el ganado, etc. Deben llevarse a cabo sin alterar el caudal ni la calidad del agua. No requieren autorización administrativa.

Usos comunes especiales. La navegación y flotación, barcas de paso y sus embarcaderos, pesca, vertidos sujetos a autorización, y cualquier otro uso que no excluya la utilización por terceros. Requieren previa declaración responsable.

Usos privativos. Se adquieren por disposición legal o concesión administrativa por un plazo máximo de 75 años y están sujetos a limitaciones de carácter general (no abuso ni desperdicio) y utilización coordinada por el Organismo de Cuenca, la concesión no garantiza caudal. Hay un orden de prelación de los usos establecido por el Plan Hidrológico de cuenca y subsidiariamente por la ley: abastecimiento de población, regadíos y usos agrarios, almacenamiento hidráulico para energía, usos industriales para producción de energía, otros usos industriales, acuicultura, usos recreativos, navegación, y otros aprovechamientos.

Registro de aguas. En él se inscriben de oficio las concesiones de agua y sus cambios, es público, y hay uno por cada Organismo de Cuenca. El registro tiene 3 secciones: A (concesiones de aguas superficiales, subterráneas, o recursos no convencionales como aguas desalinizadas o regeneradas, reservas a favor de las Confederaciones Hidrográficas), B (aprovechamientos de aguas subterráneas hasta 7.000 m³/año) y C (aprovechamientos temporales de aguas privadas).

Régimen jurídico de las comunidades de usuarios. Son beneficiarios del agua y otros bienes de DPH de una misma toma o concesión (p.e. comunidades de regantes), son corporaciones de derecho público adscritas al organismo de cuenca con sus propios estatutos. Tienen una organización mínima constituida por la Junta general o Asamblea, la Junta de gobierno (que es el órgano ejecutivo elegido por la Junta general), y el Jurado.

5. Reconocimiento de derechos anteriores a 1986

Respecto a la utilización de aguas privadas conforme a la Ley de 1879, la Ley 29/1985 daba la opción, durante 3 años, de inscribir el aprovechamiento como temporal de aguas privadas por un plazo máximo de 50 años, teniendo al final de ese plazo preferencia para obtener la concesión. Otra opción era la inclusión en el "catálogo de aguas privadas" sin protección administrativa, que finalizó con la entrada en vigor de la ley del Plan Hidrológico Nacional.

6. Protección del Dominio Público Hidráulico y de la calidad de las aguas continentales: zonas de servidumbre y de policía, apeo y deslinde; vertidos; reutilización

Las márgenes están sujetas en toda su extensión longitudinal a una **zona de servidumbre** de 5 m de anchura (en cauces, lagos y embalses), donde se podrá sembrar y plantar, pero no árboles que requieren autorización, así como cualquier tipo de edificación que se otorgará en casos muy justificados y de forma excepcional, las funciones de esta zona son proteger el ecosistema fluvial y el DPH, paso público peatonal y para los servicios de vigilancia, conservación y salvamento, y varado y amarre de embarcaciones de forma ocasional y en caso de necesidad; y una **zona de policía** de 100 m en la que se condicionará el uso del suelo y las actividades a desarrollar. Ambas distancias medidas desde el límite del DPH.

El **apeo** (comprobación en campo por representante de la administración, técnico y propietarios afectados) y el **deslinde** (delimitación visible por medio de hitos o amojonamiento) de los cauces de DPH corresponde a la AGE en cuencas intercomunitarias, que los efectuará a través de los organismos de cuenca.

Según el TRLA son **vertidos** los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales y marinas, así como en el resto del DPH, independientemente de la técnica utilizada. Se prohíbe con carácter general el vertido de aguas contaminadas al DPH, salvo que tenga autorización administrativa.

El uso de las aguas regeneradas requerirá concesión administrativa o la modificación de características de una concesión existente. El organismo de cuenca resolverá motivadamente las solicitudes presentadas, previo informe preceptivo y vinculante de las autoridades sanitarias. Cuando el interesado en el uso de las aguas regeneradas sea el primer usuario y el uso al que se vaya a destinar esté reconocido en el marco de su concesión original, no precisará una nueva concesión y solicitará al organismo de cuenca la modificación de la concesión existente. Adicionalmente, la producción y suministro de aguas regeneradas estarán sometidas a autorización del organismo de cuenca.

7. Régimen económico-financiero de la utilización del dominio público hidráulico

Las Administraciones públicas competentes, en virtud del principio de recuperación de costes y teniendo en cuenta proyecciones económicas a largo plazo, establecerán los oportunos mecanismos para repercutir los costes de los servicios relacionados con la gestión del agua, incluyendo los costes ambientales y del recurso, en los diferentes usuarios finales. Para ello, el TRLA contempla las siguientes exacciones: canon de utilización de bienes de DPH, canon de control de vertidos, canon de regulación y tarifa de utilización del agua, y canon por utilización de las aguas continentales para la producción de energía eléctrica.

8. Infracciones y sanciones

El TRLA considera infracciones: las acciones que causen daños a los bienes de DPH y a las obras hidráulicas; la derivación de agua de sus cauces y el alumbramiento de aguas subterráneas sin la correspondiente concesión o autorización cuando sea precisa; el incumplimiento de las condiciones impuestas en las concesiones y autorizaciones; la ejecución, sin la debida autorización, de obras, siembras o plantaciones en los cauces públicos; la invasión, la ocupación o la extracción de áridos de los cauces, sin la correspondiente autorización; los vertidos que puedan deteriorar la calidad del agua efectuados sin contar con autorización; la apertura de pozos y la instalación en los mismos de instrumentos para la extracción de aguas subterráneas sin disponer previamente de concesión o autorización; la no presentación de declaración responsable o el incumplimiento de las previsiones contenidas en la declaración responsable para el ejercicio de una determinada actividad o de las condiciones impuestas por la Administración para el ejercicio de la misma; y la inexactitud, falsedad u omisión en los datos o documentos que se incorporen o acompañen a la declaración responsable.

Las infracciones se califican en el RDPH como leves, menos graves, graves, o muy graves, según sus consecuencias sobre el DPH y la seguridad de las personas, y las circunstancias del responsable. Las sanciones pueden ser: infracciones leves, multa de hasta 10.000 €; infracciones menos graves, multa de 10.000,01 a 50.000 €; infracciones graves, multa de 50.000,01 a 500.000 €; e infracciones muy graves, multa de 500.000,01 a 1 M€. La sanción de las infracciones leves y menos graves corresponde al Organismo de cuenca, las graves al MITECO, y las muy graves al Consejo de Ministros.

9. Contrato de cesión de derechos al uso privativo de las aguas públicas

Los concesionarios o titulares de algún derecho al uso privativo de las aguas podrán ceder con carácter temporal a otro concesionario o titular de derecho de igual o mayor rango según el orden de prelación de usos, previa autorización administrativa, la totalidad o parte de los derechos de uso que les correspondan. Los concesionarios o titulares de derechos de usos privativos de carácter no consuntivo no podrán ceder sus derechos para usos que no tengan tal consideración. Cuando razones de interés general lo justifiquen, el ministro competente podrá autorizar, con carácter temporal y excepcional, cesiones de derechos de uso del agua que no respeten las normas sobre prelación de usos.

10. Seguridad de presas, embalses y balsas

El RDPH dedica su título VII a la seguridad de presas, embalses y balsas que estén clasificadas como grandes presas (altura > 15 m y las que, teniendo una altura entre 10 y 15 m, tengan una capacidad de embalse > 1 hm³), o en función de su riesgo potencial sean clasificadas en las categorías A (presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto pueden afectar gravemente a núcleos urbanos o a servicios esenciales, o producir daños materiales o medioambientales muy importantes) o B (presas cuya rotura o funcionamiento incorrecto puede ocasionar daños materiales o medioambientales importantes o afectar a un número reducido de viviendas). A efectos de solicitud de clasificación y registro, quedan asimismo incluidas en el ámbito de aplicación de este título las presas y balsas de altura > 5 m o de capacidad de embalse > 100.000 m³.

MEA1T2. Directiva Marco de Aguas

1. Directiva 2000/60/CE Marco del Agua y directivas relacionadas

La Directiva Marco de Aguas (DMA) es la Directiva 2000/60, traspuesta mediante la Ley 62/2003 que modifica el TRLA. Tiene por objeto la protección de las aguas superficiales continentales, aguas de transición, aguas costeras y aguas subterráneas. Nace como respuesta a la necesidad de unificar las actuaciones en materia de gestión de agua en la Unión Europea. Debido a que las aguas están sometidas a la creciente presión que supone el continuo crecimiento de su demanda, de buena calidad y en cantidades suficientes para todos los usos, surge la necesidad de tomar medidas para proteger las aguas tanto en términos cualitativos como cuantitativos y garantizar así su sostenibilidad.

Supone una serie de exigencias para los Estados miembros: implantación de medidas, constitución de demarcaciones hidrográficas, y desarrollo de Planes Hidrológicos.

Algunas directivas relacionadas que cabe citar son, por orden cronológico, la Directiva 2006/118 relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro; la Directiva 2008/105 relativa a normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas; y la Directiva 2009/90 que establece las especificaciones técnicas del análisis químico y del seguimiento del estado de las aguas. Además, hay una serie de directivas sobre control de emisiones (vertidos) y prevención de la contaminación.

2. Objetivos medioambientales

Los Estados miembros debían cumplir los objetivos medioambientales antes de 2015 determinando las medidas oportunas que se pueden resumir en prevenir el deterioro, proteger, mejorar y regenerar las aguas superficiales, subterráneas y las masas de agua artificiales y muy modificadas para alcanzar un buen estado en todas ellas.

3. Tipos de masas de agua, caracterización de masas de agua, presiones e impactos

La caracterización de los tipos de masas de agua, de las presiones y de los impactos viene reflejada en el anexo II de la DMA haciendo una distinción entre masas de aguas superficiales y subterráneas:

Aguas superficiales.

- Ríos, lagos, aguas de transición, costeras y artificiales.
- Caracterización: tamaño, caudales, condiciones físico-químicas, biológicas, e hidromorfológicas.
- Presiones: contaminación puntual (vertidos) o difusa (fertilizantes, plaguicidas), extracción.
- Impactos: evaluación de influencia de las presiones en el estado de las aguas.

Aguas subterráneas.

- Acuíferos.
- Caracterización: ubicación, límites, tamaño, estratos suprayacentes y dependencia de aguas superficiales.
- Presiones: fuentes de contaminación puntual, difusa, recarga, extracción.
- Impactos: evaluación de influencia de las presiones en el estado de estas aguas.

Una presión es cualquier actividad humana que incida sobre el estado de las aguas, un impacto es la alteración del valor natural que la presión produce, mientras que un indicador permite evaluar el efecto de la presión, definiendo la DMA una amplia variedad de indicadores de calidad para determinar el estado de las aguas.

4. Estado ecológico, potencial ecológico y designación de masas artificiales y muy modificadas

El estado ecológico es función de los indicadores biológicos, hidromorfológicos y físico-químicos. El estado químico es función de la concentración de contaminantes. El estado de las aguas superficiales es el peor valor de su estado ecológico y su estado químico, es la expresión general de su estado.

Las masas de agua artificiales son las que han sido creadas por la actividad humana, no requieren ningún estudio ecológico para su identificación.

Las masas de agua muy modificadas son la que, como consecuencia de las actividades humanas, han cambiado en su naturaleza sin que puedan alcanzar un buen estado ecológico, por lo que se habla de cumplir el buen potencial ecológico.

5. 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

Este real decreto establece: los criterios básicos y homogéneos para el diseño y la implantación de los programas de seguimiento del estado de las masas de agua superficiales y para el control adicional de las zonas protegidas; las normas de calidad ambiental para las sustancias prioritarias, preferentes y para otros contaminantes con objeto de conseguir un buen estado químico y ecológico de las aguas superficiales o un buen potencial ecológico de dichas aguas, cuando proceda; las condiciones de referencia y los límites de clases de estado de los indicadores de los elementos de calidad biológicos, físicoquímicos e hidromorfológicos para clasificar el estado o potencial ecológico de las masas de agua superficiales; y las disposiciones mínimas para el intercambio de información sobre estado y calidad de las aguas entre la Administración General del Estado y las administraciones con competencias en materia de aguas.

6. Reglamento de planificación hidrológica. Marco normativo de los Planes Hidrológicos

El marco normativo de los planes hidrológicos lo constituye el TRLA y el Reglamento de Planificación Hidrológica. La planificación hidrológica tiene por objetivos generales conseguir el buen estado y la adecuada protección del dominio público hidráulico, la satisfacción de las demandas de agua, el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial, incrementando las disponibilidades del recurso, protegiendo su calidad, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente, y contribuyendo a paliar los efectos de las inundaciones y sequías.

La planificación se realiza mediante el Plan Hidrológico Nacional y los planes hidrológicos de cuenca, que tienen como ámbito territorial el de la demarcación hidrográfica correspondiente, son aprobados por el Gobierno, incluso los elaborados por las CCAA en cuencas intracomunitarias, y deben acomodarse a las determinaciones del Plan Hidrológico Nacional.

La elaboración y propuesta de revisiones ulteriores de los planes hidrológicos de cuenca se realizarán por las Confederaciones Hidrográficas en cuencas intercomunitarias o por la administración hidráulica competente de la comunidad autónoma correspondiente en cuencas intracomunitarias. El procedimiento para su elaboración y revisión contempla la participación pública y de los departamentos ministeriales interesados, los plazos para presentación de propuestas por los organismos correspondientes y la actuación subsidiaria del Gobierno en caso de falta de propuesta.

Los planes hidrológicos de demarcación se deben someter a evaluación ambiental estratégica de acuerdo con lo establecido en la Ley 21/2013 de evaluación ambiental.

El Consejo del Agua de la demarcación es el encargado de promover la información, consulta y participación pública en el proceso planificador, y elevar al Gobierno, a través del MITECO, el plan hidrológico de la cuenca y sus ulteriores revisiones. Asimismo, podrá informar las cuestiones de interés general para la demarcación y las relativas a la protección de las aguas y a la mejor ordenación, explotación y tutela del dominio público hidráulico.

El MITECO remitirá las propuestas de Planes Hidrológicos de cuenca al Consejo Nacional del Agua para que emita el preceptivo informe donde se analice la compatibilidad entre los planes hidrológicos de demarcación y con el Plan Hidrológico Nacional. Una vez emitido el informe por el Consejo Nacional del Agua, el MITECO eleva al Gobierno el Plan Hidrológico para su aprobación si procede, que se realiza por Real Decreto.

Los Planes Hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:

- La descripción general de la demarcación hidrográfica incluyendo la delimitación de aguas superficiales, continentales, costeras, de transición (incluyendo la motivación de las aguas artificiales y muy modificadas), y subterráneas.
- La descripción general de los usos, presiones e incidencias antrópicas significativas sobre las aguas, incluyendo el orden de preferencia y los caudales ecológicos.
- La identificación y delimitación de las zonas protegidas.
- Las redes de control establecidas para el seguimiento del estado de las aguas superficiales, subterráneas y de las zonas protegidas.
- La lista de objetivos medioambientales para las aguas superficiales, subterráneas y las zonas protegidas, incluyendo los plazos previstos para su consecución, y las condiciones para excepciones y prórrogas.
- El análisis económico del uso del agua.
- Los programas de medidas para alcanzar los objetivos previstos.
- Las determinaciones del Plan Hidrológico Nacional para el Plan Hidrológico de Cuenca.
- Un Resumen de la información pública y las consultas efectuadas, y su repercusión en el Plan Hidrológico de Cuenca.
- La lista de autoridades competentes designadas.
- Los puntos de contacto y procedimientos para obtener la documentación de base y la información requerida por las consultas públicas.

En los planes hidrológicos de cuenca se podrán establecer reservas, de agua y de terrenos, necesarias para las actuaciones y obras previstas. Los planes hidrológicos de cuenca se deben revisar cada 6 años.

7. Características de la demarcación hidrográfica

Es la zona terrestre y marina, compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras, asociada/s a dicha/s cuenca/s. Son consideradas la principal unidad a efectos de gestión de cuencas y de los correspondientes planes hidrológicos.

8. Recuperación de costes

La recuperación de costes de los servicios relacionados con el agua, principio fundamental junto con el de “quien contamina paga” de la DMA. En 2010 los Estados miembros debían tener implantadas políticas y normas que garantizaran el cumplimiento de estos principios.

9. Programa de medidas

Los Estados miembros velarán porque se establezca para cada demarcación hidrográfica un programa de medidas con el fin de alcanzar los objetivos medioambientales. Existen 2 tipos de medidas: básicas, para alcanzar requisitos mínimos y se establecen reglamentariamente; y complementarias, de carácter adicional para una protección ampliada de las aguas.

MEA1T3. Avenidas y sequías

1. Avenidas e inundaciones

Aunque la pluviometría en España no es abundante, en ocasiones se presentan precipitaciones que en pocas horas superan el promedio anual. Se trata de un problema hidrológico con efectos territoriales y socioeconómicos. Para proteger de las avenidas hay que llegar a un equilibrio entre el coste de las actuaciones y el valor de los bienes a proteger. Las medidas de protección consisten en modificar las condiciones de la zona inundable para hacerla menos susceptible a los daños de la inundación, y sin evitar los riesgos de inundación mitigan sus efectos.

Los daños producidos por las crecidas dependen de los niveles alcanzados por la inundación, época del año, velocidad del agua, duración, carga de sólidos arrastrada y tiempo desde que se da la alarma. Las actuaciones de defensa contra avenidas pueden proteger las zonas inundables de 2 formas: con medidas estructurales mediante obras de infraestructuras, reduciendo la inundación con embalses de laminación, diques longitudinales, encauzamientos con mayor capacidad o trasvases; y con medidas no estructurales, reduciendo posibles daños mediante cambios de ubicación de ciertos usos del suelo, sistemas de previsión y alerta, o labores de corrección hidrológico-forestal para reducir la erosión y la escorrentía. Las primeras son medidas que se utilizan para crecidas ordinarias en zonas urbanas y las segundas lo son para crecidas extraordinarias.

2. La Directiva 2007/60 de evaluación y gestión de riesgos de inundación y RD 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación. Planes de gestión de riesgo de inundación

El objetivo de la Directiva 2007/60 es establecer un marco para la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, destinado a reducir las consecuencias negativas de las inundaciones para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio cultural y la actividad económica. En las políticas de usos del agua y del suelo los Estados miembros deben considerar los riesgos de inundación. Las inundaciones pueden ser de carácter fluvial o provocadas por el mar en las zonas costeras y sus daños varían según las regiones, por lo que los riesgos de inundación deben evaluarse para cada demarcación hidrográfica o unidad de gestión.

La Directiva 2007/60 ha sido traspuesta mediante el RD 903/2010 y tiene un doble objetivo: evaluar los riesgos asociados a las inundaciones y lograr una actuación coordinada de todas las administraciones públicas y la sociedad para reducir sus consecuencias negativas. Establece las siguientes obligaciones concretas: evaluación preliminar del riesgo de inundación (donde se identifican las áreas con riesgo potencial significativo de inundación); mapas de peligrosidad y riesgo; y planes de gestión de riesgo de inundación (PGRI) que deben incluir: las conclusiones de la evaluación preliminar de los riesgos de inundación, los mapas de peligrosidad y de riesgos de inundación, objetivos de la gestión de riesgos de inundación, un resumen del contenido de los planes de protección civil existentes, descripción de los sistemas para la obtención de información hidrológica en tiempo real durante avenidas y sistemas de predicción y ayuda a la decisión disponibles, un resumen de los programas de medidas que cada administración ha aprobado con indicación de prioridades entre ellos.

Actualmente se encuentran aprobados los PGRI de 2º ciclo 2022-2027 de las 12 demarcaciones hidrográficas intercomunitarias de competencia estatal, y los de las 13 demarcaciones hidrográficas intracomunitarias de competencia autonómica. Todos los planes han sido aprobados por el Gobierno de España mediante real decreto, excepto los correspondientes a las siete demarcaciones canarias que han sido aprobados por decreto del Gobierno de Canarias.

3. Sequías

En España las sequías hidrológicas son producidas por la persistencia de valores bajos de precipitación durante varios años consecutivos, puesto que si solo se presentan en un año se superan gracias a la elevada capacidad de embalse existente en nuestro país. No hay una caracterización suficientemente precisa de las principales sequías históricas acaecidas, a pesar de los problemas de sequía que sufre España.

Las sequías afectan a los ecosistemas acuáticos y al paisaje convirtiéndose en un problema ambiental y no solo de recursos, y son un fenómeno normal y recurrente en el clima de España. Por tanto, las actuaciones a desarrollar en estas situaciones deben estar basadas en la planificación, mediante una “gestión del riesgo”, y no en medidas de emergencia como “respuesta a la crisis”. La sequía producida en la mayor parte de España entre 1991 y 1995, con consecuencias socioeconómicas muy negativas, actuó como detonante de este cambio de mentalidad a la hora de gestionar las sequías.

Se pueden distinguir los siguientes tipos de sequías:

- Sequía meteorológica, reducción de la cantidad de precipitación durante un periodo específico por debajo de una cantidad concreta, es una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la Tierra. Su definición solo comprende datos de precipitación.
- Sequía hidrológica, tiene relación con la disponibilidad de agua y supone un anormal déficit de caudales superficiales. Según la regulación y la demanda puede producir déficit en los diferentes usos.
- Sequía operacional, tiene que ver con la gestión de los recursos hídricos, existen modelos para estudiarlas, así como medidas de mitigación y la estimación de su eficacia.

4. Planes especiales de alerta y eventual sequía

La Ley 10/2001 del Plan Hidrológico Nacional, sentó las bases de la gestión planificada de las sequías. Se centra en aspectos como la definición de un sistema de indicadores de sequías, que ayude a la toma de decisiones de forma objetiva, progresiva y planificada; la elaboración de Planes Especiales de Sequías en cada ámbito de planificación hidrológica; y la elaboración de Planes de Emergencia para sistemas de abastecimiento de más de 20.000 personas.

Los planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía se redactan por parte de los organismos de cuenca en las cuencas intercomunitarias. Estos planes incluyen la definición de indicadores y umbrales de estado, programas de medidas a aplicar en relación con el uso del DPH, y sistema de gestión y seguimiento de la sequía.

Su objetivo general es minimizar los aspectos ambientales y socio-económicos de las eventuales situaciones de sequía, que se persigue a base de objetivos específicos: garantizar la disponibilidad de agua para asegurar la salud y vida de la población, evitar o minimizar la afección sobre el régimen de caudales ecológicos, minimizar efectos negativos sobre el abastecimiento urbano y sobre las actividades económicas según prioridades de legislación de aguas y de los planes hidrológicos de cuenca.

En 2018 el MITECO ha aprobado por orden ministerial la revisión de los Planes Especiales de Sequía correspondientes a las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar; a la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro; y al ámbito de competencias del Estado de la parte española de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental. Estos nuevos planes de gestión de sequía sustituyen a los anteriormente vigentes, que se aprobaron en el año 2007, aunque la filosofía establecida en los mismos ya llevaba años aplicándose.

La revisión de los Planes Especiales de Sequía, se realizó de acuerdo con lo establecido en la aprobación de los Planes Hidrológicos de segundo ciclo, de forma que fueran coherentes con los criterios de estos planes (en cuanto a su definición y establecimiento de recursos, caudales ecológicos, condicionantes del cambio climático, demandas, etc.).

Con la entrada en vigor de los nuevos planes se pasa a utilizar un sistema doble de indicadores, que diferencian las situaciones de sequía (entendida como un fenómeno natural), de las situaciones de escasez (relacionadas con problemas coyunturales en la atención de las demandas).

Estos Planes Especiales han sido de una gran utilidad para evitar, o al menos mitigar de forma importante, los efectos socioeconómicos negativos de las sequías, incluso en secuencias meteorológicas muy similares a la producida en el periodo 1991-1995.

El TRLA establece que, en circunstancias de sequías extraordinarias, de sobreexplotación grave de acuíferos, o en similares estados de necesidad, urgencia o concurrencia de situaciones anómalas o excepcionales, el Gobierno, mediante Decreto acordado en Consejo de Ministros, oído el organismo de cuenca, podrá adoptar, para la superación de dichas situaciones, las medidas que sean precisas en relación con la utilización del dominio público hidráulico, aun cuando hubiese sido objeto de concesión. La aprobación de dichas medidas llevará implícita la declaración de utilidad pública de las obras, sondeos y estudios necesarios para desarrollarlos, a efectos de la ocupación temporal y expropiación forzosa de bienes y derechos, así como la de urgente necesidad de la ocupación.

5. Estudios relativos a inundaciones y sequías. Prevención y control

En la previsión y cálculo de máximas crecidas, su finalidad es determinar la avenida de diseño para trabajos de planificación o de dimensionamiento de infraestructuras.

Una clasificación de los métodos de estimación de avenidas es la que los divide en:

- Métodos determinísticos, calculan de forma unívoca los caudales a partir de datos pluviométricos, como el método de la avenida máxima probable.
- Métodos probabilísticos, en base a datos disponibles de lluvias o caudales se ajustan diversas leyes de extremos para determinar por extrapolación estadística los hidrogramas de avenida y los caudales punta para diferentes periodos de retorno, son más adecuados para España.

La caracterización de las sequías persigue valorar el riesgo de que se produzcan, evaluar su impacto, desarrollar medidas contra la sequía y determinar su impacto, definiendo el fenómeno (directo o indirecto) que origina la sequía, intervalo de tiempo, área afectada y relación espacial-temporal de recursos y demandas. Se estudian por medio de la teoría de probabilidades aplicada a procesos estocásticos, se utiliza la teoría de rachas o leyes de sucesos raros (ley de Poisson).

6. Sistema automático de información hidrológica

El sistema automático de información hidrológica (SAIH), nació en 1983 y en 1985 comenzó a implantarse en la cuenca del Júcar. Responde a la necesidad de racionalizar y agilizar el proceso de toma de decisiones en 3 aspectos fundamentales de la gestión hidráulica de las cuencas: gestión global de los recursos hidráulicos, previsión y actuación en avenidas, y vigilancia de los niveles de contaminación de las aguas de ríos y canales. Tiene una red de telemedida y telecontrol que registra datos pluviométricos, hidrológicos y de situación de los embalses en un gran número de puntos y los transmite en tiempo real a los organismos de cuenca. Se estructura en 3 niveles: puntos de control, puntos de concentración y centros de proceso de cuenca, y tiene 3 formas de funcionamiento: situación normal (datos cada 15 minutos), situación de crisis (cada 5 minutos) y terminal virtual (en tiempo real).

MEA1T4. Convenios internacionales en materia de aguas

1. Cooperación internacional y participación pública

Dentro de la cooperación internacional, además de los convenios que se detallan en el siguiente apartado, existe un destacado ejemplo que es la Convención de los cursos de agua (aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 1997), sobre los derechos de los usos de cursos de aguas internacionales para usos distintos de la navegación.

La participación pública está basada en el Convenio de Aarhus de 1998 y en distintas directivas europeas.

2. Principales convenios internacionales relacionados con la gestión de los recursos transfronterizos: Convenio de Albufeira, Convenio OSPAR, Convenio de Barcelona y Plan de Acción del Mediterráneo, Convenio RAMSAR, Acuerdo de Toulouse, Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA), Convenio de Helsinki

Convenio de Albufeira (firmado en 1998 y en vigor en 2000).

- Suscrito entre España y Portugal para las 5 cuencas que comparten: Miño, Limia, Duero, Tajo y Guadiana.
- Objetivos: proteger aguas y aprovechamiento de recursos hídricos transfronterizos.
- Tiene 2 órganos de cooperación:
 - Conferencia de las Partes, compuesta por representantes de los respectivos gobiernos y presidida por un ministro de cada Estado.
 - Comisión para la Aplicación y Desarrollo del Convenio.
- En 2008 las Partes han establecido un nuevo régimen de caudales necesarios para garantizar el buen estado de las aguas y los usos actuales y previsibles.
- El Convenio ha fijado una serie de valores:
 - Los caudales mínimos que la parte española de las cuencas debe servir a la parte portuguesa en situaciones hidrológicas normales.
 - Los umbrales de precipitación y volumen almacenado en los embalses de regulación que permiten determinar los periodos de excepción.
 - Confirma el reparto hidroeléctrico establecido en el Convenio de 1964.
- Además, el convenio ha introducido el desarrollo sostenible en la gestión de las cuencas y el aprovechamiento de los recursos naturales.
- En 2015 las Partes han acordado mejorar las redes de medida de las masas de agua transfronterizas, para optimizar la información sobre su estado y cumplir los objetivos ambientales que persigue la Directiva Marco de Aguas; así como intensificar la coordinación para cumplir el régimen de caudales acordado ante situaciones de sequía.

Convenio OSPAR (suscrito en París en 1992 y en vigor en 1998).

- Protección del medio marino del Atlántico Nordeste.
- Refunde el convenio de Oslo, de prevención de la contaminación marina provocada por buques, con el convenio de París, para la prevención de la contaminación de origen terrestre.
- Sus obligaciones generales son:
 - Dar pasos para prevenir y eliminar la contaminación con programación concreta y empleo de las mejores técnicas disponibles.
 - Aplicación del principio de precaución con medidas preventivas y el principio de “quien contamina paga”.
- Sus obligaciones específicas son: Prevención y eliminación de la contaminación de origen terrestre; Prevención y eliminación de la contaminación por vertido o incineración; Prevención y eliminación de la contaminación procedentes de fuentes mar adentro, como emisarios o plataformas; Evaluación de la calidad del medio marino; y Protección y conservación de los ecosistemas y la diversidad biológica en la zona marítima.
- Objetivo general: conservar los ecosistemas marinos, la salud humana y restaurar las áreas marinas, afectadas negativamente por las actividades humanas.
- Objetivos estratégicos para el periodo 2010-2020: Detener la pérdida de biodiversidad; Luchar contra la eutrofización; Reducir emisiones de sustancias peligrosas hasta valor 0 en 2020; Proteger contra efectos nocivos de actividades offshore de gas y petróleo.

Plan de Acción del Mediterráneo (1975) y Convenio de Barcelona (1976).

- El Plan de Acción del Mediterráneo (PAM) fue el primer acuerdo regional del PNUMA, adoptado por 16 países mediterráneos y la CEE para la protección del Mar Mediterráneo contra la contaminación.
- Como marco jurídico del PAM se adopta el Convenio para la protección del mar Mediterráneo contra la contaminación (Convenio de Barcelona), y una serie de protocolos sobre la prevención de la contaminación causada por vertidos desde buques y aeronaves, sobre cooperación para combatir la contaminación en situaciones de emergencia causadas por hidrocarburos y otras sustancias perjudiciales, sobre la protección contra la contaminación de origen terrestre, sobre áreas protegidas, para la protección contra la contaminación resultante de la exploración y explotación de la plataforma continental y del fondo del mar y su subsuelo, para la prevención de la contaminación por movimientos transfronterizos de sustancias peligrosas, y para la gestión integrada de las zonas costeras.

- Obligaciones generales para las partes:
 - Tomar medidas para reducir o eliminar la contaminación en el mar Mediterráneo.
 - Tomar las medidas apropiadas para implementar el PAM
 - Proteger el medio ambiente y contribuir al desarrollo sostenible.
 - Implementar el convenio y sus protocolos.
 - Promover, dentro de los organismos internacionales competentes, las medidas referentes a la implementación de programas de desarrollo sostenible, protección, conservación y rehabilitación del medioambiente y los recursos naturales en el área del mar Mediterráneo.
- Organización administrativa del Convenio:
 - El Convenio designa al PNUMA para las funciones de Secretaría.
 - El Gobierno español es el depositario del Convenio y sus protocolos.
 - La organización institucional incluye: Conferencia de las partes y reuniones de plenipotenciarios; Reuniones de expertos; Centros de actividad regional para desarrollar el programa de actividades del PAM y para la aplicación de los protocolos; Comisión mediterránea de desarrollo sostenible; Programa coordinado de vigilancia continua de la contaminación; y Centros nacionales de coordinación.

Convenio Ramsar.

- Conservación de humedales de importancia internacional como hábitats de aves acuáticas.
- Depositaria la UNESCO (organización de las naciones unidas para la educación, la ciencia y la cultura).
- España es miembro desde 1982, lo firmó en 1971, pero no lo ratificó hasta 1982.
- Cuando un país se adhiere contrae una serie de compromisos en materia de conservación y uso racional de sus humedales con la obligación de incluir al menos 1 humedal en la "Lista de humedales de Importancia Internacional".
- El Convenio incluye a 172 países, con más de 2.500 humedales que ocupan una superficie que supera los 250 millones de hectáreas.
- En España hay más de 70 humedales incluidos en la lista (3% del total), ocupando más de 300.000 ha (0,1% del total).

Acuerdo de Toulouse.

Bajo los antecedentes del Convenio de Helsinki y de la Directiva Marco del Agua (DMA), España y Francia formalizaron en 2006 un acuerdo administrativo sobre gestión del agua, con el fin de coordinar las medidas tomadas en las cuencas hidrográficas situadas a ambos lados de la frontera e instaurar una cooperación administrativa regular entre los dos países en lo relativo a la implantación de la DMA, realizando una gestión del agua sostenible e integrada de los cursos de agua de ambos países.

Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA).

La X Cumbre Iberoamericana de Jefes de Estado y de Gobierno (2000) encomendó a España la organización del I Foro de Ministros de Medio Ambiente, que se celebró en 2001. En él se acordó la constitución de la Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (CODIA), como instrumento técnico de apoyo a los Foros, y con el objetivo de examinar e instrumentar modalidades de cooperación en el área de los recursos hídricos. Desde la creación de la CODIA se han celebrado Conferencias anuales que han reunido a los responsables políticos de la gestión de los recursos hídricos de 22 países iberoamericanos, con representación de diferentes organismos del sector.

Convenio de Helsinki.

El Convenio sobre la Protección y Utilización de los Cursos de Agua Transfronterizos y de los Lagos Internacionales (Convenio del Agua o de Helsinki) se firmó en 1992, y entró en vigor en 1996. España lo ratificó en el año 2000. El objetivo primordial del Convenio es reforzar las medidas de ámbito local, nacional y regional destinadas a proteger y asegurar la cantidad y calidad de los recursos hídricos transfronterizos y su uso sostenible en la región de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE o UNECE por sus siglas en inglés). Derivado de este Convenio se estableció en 1999 el Protocolo sobre Agua y Salud, primer acuerdo internacional que une las cuestiones en materia de gestión del agua y de salud. El Secretariado de este Protocolo es compartido entre la Oficina Regional Europea de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa.

3. Principales organismos internacionales relacionados con la gestión de los recursos hídricos

- ONU y OCDE (organización para la cooperación y el desarrollo económico), incluye 38 estados, sede en París y fundada en 1960.
- Asociación Mundial para el Agua, abierta a todas las organizaciones involucradas en la gestión sostenible de los recursos hídricos.
- Consejo Mundial del Agua (1996), plataforma internacional multiactor que busca promover la protección y la gestión eficiente del agua a todos los niveles, incluido el más alto.
- Agencia española de Cooperación Internacional para el Desarrollo que gestiona el Fondo de Cooperación para Agua y Saneamiento para las poblaciones más necesitadas de América Latina y Caribe.

MEA1T5. Legislación de calidad del agua

1. Legislación de aguas en relación a la calidad del agua

La Ley de Aguas (RDL 1/2001) y la Ley de Costas (22/1988) establecen medidas para conseguir una mejor calidad de las aguas continentales y marítimas, entre las que destaca la necesaria autorización previa de los vertidos.

Para completar estas medidas son necesarias otras que sometan los vertidos de las aguas residuales urbanas a una serie de tratamientos en instalaciones adecuadas, a este objetivo responde la Directiva 91/271 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas y su trasposición mediante Real Decreto Ley 11/1995, que a su vez es desarrollado por el Real Decreto 509/1996. La resolución de 25 de mayo de 1998 declara las zonas sensibles en las cuencas intercomunitarias.

2. La Directiva 91/271

Con el objetivo de proteger el medio ambiente de los efectos perjudiciales de los vertidos urbanos se desarrolló la Directiva 91/271 relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Esta directiva establece las obligaciones de disponer de sistemas de colectores y realizar el tratamiento de las aguas residuales urbanas y las procedentes de determinadas industrias. Dichas obligaciones dependen de la cantidad de carga orgánica del vertido y de las características de las aguas receptoras del vertido en cuanto a su sensibilidad a la eutrofización.

Se ha publicado la nueva Directiva 2024/3019 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, que establece nuevas exigencias en esta materia, derogando la directiva 91/271 a partir del 1 de agosto de 2027, y que deberá estar transpuesta a nuestro ordenamiento jurídico antes de esa fecha.

3. El Real Decreto-ley 11/1995 y el Real Decreto 509/1996

El **RDL 11/1995** estableció una serie de obligaciones en diferentes horizontes temporales, antes del 1/1/1999, antes del 1/1/2001 y antes del 1/1/2006, cuyo resumen es el siguiente:

- Sistemas de colectores para aguas residuales urbanas en aglomeraciones urbanas con más de 2.000 hab-eq.
- Tratamiento secundario para aguas residuales urbanas en aglomeraciones urbanas con más de 10.000 hab-eq, y entre 2.000 y 10.000 hab-eq si vierten en aguas continentales o estuarios.
- Tratamiento adecuado para aguas residuales urbanas en aquellas con menos de 2.000 hab-eq que viertan en aguas continentales o estuarios o con menos de 10.000 hab-eq si vierten en aguas marítimas.
- Tratamiento más riguroso que el secundario en aquellas con más de 10.000 hab-eq si vierten en zonas sensibles.
- El proyecto, construcción y explotación de las estaciones de tratamiento debe tener en cuenta las variaciones estacionales de carga y la toma de muestras del efluente a la entrada y salida (antes de verter) de las instalaciones.
- Prohíbe el vertido de fangos procedentes de las instalaciones de tratamiento a las aguas continentales y marítimas.

El **RD 509/1996** que desarrolla el RDL 11/1995 establece:

- Que los habitantes-equivalentes se calcularán a partir del valor medio diario de carga orgánica biodegradable, correspondiente a la semana de máxima carga del año, sin tener en consideración situaciones producidas por lluvias intensas u otras circunstancias excepcionales. Cada hab-eq produce una DBO5 de 60 g de oxígeno por día.
- Los requisitos a cumplir por los vertidos en función de la sensibilidad de la zona donde se haga.
- Los criterios para la declaración de “zonas sensibles” y “zonas menos sensibles” y su revisión al menos cada 4 años.
- Los criterios y objetivos de los tratamientos previos antes del vertido de las aguas residuales industriales en los sistemas de colectores (alcantarillado).

4. Las zonas sensibles: la resolución de 25 de mayo de 1998

Las zonas sensibles requieren un mayor control de la contaminación y por tanto los vertidos realizados a ellas deben cumplir requisitos adicionales. La declaración de las zonas sensibles en las cuencas hidrográficas intracomunitarias es competencia de la C.A. correspondiente, mientras que en cuencas intercomunitarias la competencia recae en la AGE.

La resolución de 25 de mayo de 1998 declara las zonas sensibles en las cuencas intercomunitarias e identifica los núcleos de población >10.000 hab-eq que vierten en ellas, debiendo ser revisada la declaración de las zonas cada 4 años, la última declaración es de febrero de 2023. Tras la declaración de una zona sensible, hay un plazo de 7 años para implantar un tratamiento más riguroso que el secundario sobre los vertidos de las aguas residuales urbanas de las aglomeraciones mayores de 10.000 hab-eq que se produzcan sobre esa zona sensible o sobre su área de captación. Están declaradas 208 zonas sensibles en las cuencas hidrográficas intercomunitarias, la última declaración ha añadido 7 zonas nuevas.

5. Vertidos

Según el TRLA son vertidos los que se realicen directa o indirectamente en las aguas continentales y marinas, así como en el resto del DPH, independientemente de la técnica utilizada. Se prohíbe con carácter general el vertido de aguas contaminadas al DPH, salvo que tenga autorización administrativa. Los vertidos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- A las aguas superficiales: Directos, Indirectos (a través de colectores o cualquier otro medio de desagüe).
- A las aguas subterráneas: Directos (inyección sin percolación, por ejemplo a través de un pozo), Indirectos (por filtración a través del suelo).

6. Declaración de vertidos

Para obtener la autorización de vertido es preciso presentar solicitud del titular de la actividad en modelo oficial aprobado por el MITECO que contendrá al menos:

- Datos de la actividad causante del vertido.
- Dónde se va a verter.
- Características del vertido (cualitativas, cuantitativas y temporales).
- Descripción de las instalaciones de depuración y vertido con su proyecto suscrito por técnico competente, compatible con las normas de calidad ambiental del medio receptor para la consecución de los valores límite de emisión del vertido.

Es obligatorio solicitar autorización de vertido antes de iniciar la actividad causante del vertido, si no se respeta se incoará expediente sancionador por el organismo de cuenca que procederá a liquidar canon de vertido de los años no prescritos (que son 3 años para infracciones muy graves, 2 años para graves y 6 meses para leves), además se iniciará procedimiento de autorización o resolución de cese de vertido.

7. Autorizaciones de vertido

Tendrán como objeto la consecución de los objetivos medioambientales establecidos, teniendo en cuenta las mejores técnicas disponibles y de acuerdo con las normas de calidad ambiental y los límites de emisión fijados reglamentariamente. Se establecerán condiciones de vertido más rigurosas cuando el cumplimiento de los objetivos medioambientales lo requiera. Cuando se otorgue una autorización o se modifique, podrán establecerse plazos y programas de reducción de la contaminación para la progresiva adecuación de las características de los vertidos a los límites que en ella se fijen. La autorización de vertido no exime de cualquier otra que sea necesaria para la actividad o instalación de que se trate.

Para vertidos al DPH de una cuenca intercomunitaria es la Confederación Hidrográfica la encargada de autorizarlos, si la cuenca es intracomunitaria es el Organismo de Cuenca de la CA correspondiente. En los casos de vertidos efectuados en cualquier punto de la red de alcantarillado o de colectores gestionados por las Administraciones autonómicas o locales o por entidades dependientes de las mismas, la autorización corresponderá al órgano autonómico o local competente.

Las autorizaciones de vertido establecerán las condiciones en que deben realizarse:

- Origen de las aguas y punto de vertido.
- Caudal y valores límites de emisión del vertido para cumplir con las normas de calidad ambiental del medio receptor, que no podrán alcanzarse mediante técnicas de dilución.
- Instalaciones de depuración y evacuación suficientes.
- Plazo de vigencia (máximo 5 años renovable por períodos iguales). Las autorizaciones de vertido de sustancias peligrosas a las aguas subterráneas se otorgarán por un plazo de cuatro años renovables por períodos iguales.
- Importe del canon de control de vertido.

El organismo de cuenca puede revocarlas por incumplimiento de las condiciones de la autorización o revisarlas por cambio de circunstancias, tanto positivas como negativas.

Cuando el vertido pueda dar lugar a la infiltración o almacenamiento de sustancias susceptibles de contaminar los acuíferos o las aguas subterráneas, sólo podrá autorizarse si el estudio hidrogeológico previo demostrase su inocuidad.

8. Procedimientos de infracción abiertos por la Comisión Europea al Reino de España por incumplimiento de la Directiva 91/271

España acumula 5 expedientes sancionadores por incumplimiento de la Directiva 91/271 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas que afectan a más de 1.000 aglomeraciones urbanas. El nivel de cumplimiento es cercano al 90% del total en relación con la depuración de la carga contaminante total, pero aún está algo alejado de cumplir los objetivos para la depuración en municipios de más de 10.000 habitantes que vierten a zonas sensibles, ya que aproximadamente un 70% de estos municipios españoles cuenta con los sistemas de depuración terciarios que exige la legislación comunitaria, con el 30% restante todavía pendiente.

A partir de ahí, se ha iniciado un cambio de rumbo con una auditoría de todas las Comunidades Autónomas para conocer la situación real de la depuración en España y priorizar las inversiones en los programas de medidas de los planes hidrológicos de las distintas demarcaciones.

Así, de forma clara, objetiva y con visión de futuro, se priorizaron todas las inversiones en base, en primer lugar, a los procedimientos de infracción abiertos por la Comisión Europea al Reino de España, a las que se sumaron aquellas actuaciones que por su importancia o por su próximo incumplimiento serán las próximas a acometer y, por último, las actuaciones necesarias, pero no urgentes, que se incluirán en el horizonte 2021-2027 de la Planificación.

La senda actual de prioridades para las inversiones a llevar cabo por la Administración General del Estado, a través de la Dirección General del Agua del MITECO, viene marcada por los Fondos Estructurales 2014-2020, destinados íntegramente, en lo que a agua se refiere, al saneamiento y depuración.

MEA1T6. Las zonas húmedas

1. Las zonas húmedas

La realidad física sobre la que la Ley construye el concepto de zonas húmedas se caracteriza por la elevación del nivel freático con el estrato saturado próximo a la superficie que facilita el almacenamiento irregular de una masa de agua de mayor o menor extensión, pero poco profunda.

Estrictamente, la zona húmeda alude a encharcamiento temporal, de aguas remansadas y de origen natural. Sin embargo, el afán protector de las zonas palustres ha puesto de manifiesto la necesidad de actuar sobre la totalidad de los ecosistemas acuáticos epicontinentales y costeros; lo que ha determinado la inclusión en el ámbito de las zonas húmedas de ecosistemas acuáticos profundos o fluyentes (lagos, lagunas, charcas, embalses y ensanchamientos de ríos) en medios continentales, así como los grandes estuarios y bahías.

Así pues, se consideran zonas húmedas aquellas donde se produce el almacenamiento de agua de mayor o menor extensión, pero poco profunda, ya sean permanentes o temporales, remansadas o corrientes, naturales o artificiales, dulces, salobres o salinas.

Nuestro ordenamiento distingue dos grandes clases: marismas, terreno llano y bajo que se inunda periódicamente por efecto de las mareas o la filtración del agua del mar, formando parte de la zona marítimo-terrestre, estando reguladas por la ley de Costas; y el resto de terrenos pantanosos o encharcadizos, incluso los creados artificialmente, regulados por la legislación de Aguas. Además, cuando en estas zonas existan valores ecológicos merecedores de una protección especial, la normativa aplicable a las mismas será la prevista en la disposición legal específica.

El interés por lograr en el pasado la desaparición física de terrenos pantanosos, con decepcionantes resultados económicos en numerosas ocasiones y con efectos perjudiciales como un incremento de la erosión y afectaciones al nivel freático o al caudal de las aguas subterráneas, ha sido sustituido por un amplio movimiento a favor de su conservación y en pro de la restauración y rehabilitación de las perdidas zonas húmedas.

Actualmente es evidente la importancia ecológica de las zonas húmedas con las siguientes ventajas:

- Atenúan las crecidas extremas, retardando y reteniendo agua de alimentación.
- Retienen sedimentos.
- Dificultan la erosión con su vegetación.
- Capacidad de absorción de elementos nutritivos de las plantas (nitrógeno y fósforo) y de los contaminantes.
- Mantienen una alta diversidad genética con especies endémicas y amenazadas.
- Lugares de reproducción y cría insustituibles para muchas especies.
- Recarga de acuíferos.

Además, la Red Natura 2000 protege los humedales por su importancia para las aves.

2. Inventario español de zonas húmedas

El RDPH establece que los organismos de cuenca realizarán un inventario de las zonas húmedas que debe incluir:

- Las zonas húmedas existentes y aquellas que puedan recuperar o adquirir esa condición.
- Información sobre su delimitación, características actuales, incluyendo comunidades biológicas que habitan, estado de conservación y amenazas de deterioro, aprovechamientos actuales o posibles, medidas para su conservación y protección, y posibles aprovechamientos que puedan realizarse considerando la utilización sostenida de los recursos naturales.

El Real Decreto 435/2004 regula el Inventario nacional de zonas húmedas, derivado en su día de la Ley 4/1989 de conservación de los espacios naturales y de la flora y fauna silvestres (ley derogada por la actual Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad), que prevé la elaboración y mantenimiento actualizado del Inventario por parte del MITECO a partir de la información suministrada por las CCAA, con el fin de conocer su evolución y, en su caso, indicar las medidas de protección que deben recoger los planes hidrológicos de cuenca.

3. La delimitación de zonas húmedas

Con el fin de facilitar la defensa, gestión y mejora de las zonas húmedas, el TRLA prevé su delimitación.

Para marismas, la delimitación se hará por las normas sobre deslinde de la ley de Costas y de su Reglamento.

Para terrenos pantanosos, la delimitación se hará, si son de DPH por lo que establece el RDPH, si no son de DPH (son privados) por lo que establece la Ley 39/2015 del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas. Se puede fijar además un perímetro de protección.

4. Mecanismos de protección y conservación de las zonas húmedas

El TRLA y el RDPH establecen 2 grados de protección de las zonas húmedas:

- Régimen general, toda actividad que afecte a las zonas húmedas queda sujeta a autorización o concesión administrativa, cuando la zona húmeda es de propiedad privada será necesaria la obtención de una autorización. Si es de dominio público, autorización para uso común, general o especial, y concesión para el uso privativo o el anormal

(no conforme al destino de la zona húmeda), que solo se otorgará si supone una utilización sostenible del humedal que no interfiera con la renovación natural del recurso, salvo casos excepcionales de interés público en los que se reduzca el daño y se contemplen actuaciones restauradoras. La competencia para otorgar la autorización o concesión corresponderá:

- A la administración estatal de costas en el caso de las marismas, sin perjuicio de que la competencia en esta materia corresponda a las CCAA que las hayan asumido en sus estatutos.
- A la administración hidráulica en el caso de terrenos pantanosos.
- Regímenes especiales, cuando la zona presente valores ecológicos merecedores de protección especial están regulados por el Ordenamiento medioambiental. La Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad establece las siguientes clases de espacios naturales protegidos:
 - Parques, son áreas naturales que poseen unos valores ecológicos, estéticos, educativos y científicos cuya conservación merece una atención preferente. Los Parques Nacionales se rigen por su legislación específica y sobre ellos ejercen funciones la AGE y las CCAA correspondientes, siendo éstas las que ejercen la gestión exclusiva, hay 16 en España (Islas Atlánticas de Galicia, Picos de Europa, Ordesa y Monte Perdido, Aigüestortes, Sierra de Guadarrama, Monfragüe, Cabañeros, Tablas de Daimiel, Doñana, Sierra Nevada, Archipiélago de Cabrera, Teide, Timanfaya, Caldera de Taburiente, Garajonay y Sierra de las Nieves).
 - Reservas Naturales, son espacios naturales cuya creación tiene como finalidad la protección de ecosistemas, comunidades o elementos biológicos por su rareza, fragilidad, importancia o singularidad.
 - Áreas Marinas Protegidas, son espacios naturales designados para la protección de ecosistemas, comunidades o elementos biológicos o geológicos del medio marino, incluidas las áreas intermareal y submareal, por su rareza, fragilidad, importancia o singularidad.
 - Monumentos naturales, son espacios o elementos de la naturaleza constituidos básicamente por formaciones de notoria singularidad, rareza o belleza.
 - Paisajes protegidos, son partes del territorio que, por sus valores naturales, estéticos y culturales, y de acuerdo con el Convenio del paisaje del Consejo de Europa, merecen una protección especial.

Además de lo anterior, los humedales pueden ser protegidos por otros medios jurídicos, especialmente mediante planes territoriales y de ordenación urbana.

5. Rehabilitación o restauración

Dentro de las zonas que puedan recuperar o adquirir la condición de zonas húmedas se pueden considerar los bordes o colas de embalses o aquellas que hayan sido desecadas por causas naturales o artificiales en alguno de estos supuestos:

- Cuando no existan aprovechamientos en la actualidad sobre la antigua zona húmeda.
- Cuando, aun existiendo, sean de escasa importancia.
- Cuando los rendimientos de los aprovechamientos agrarios previstos para justificar la desecación no se alcancen con sensible desmerecimiento.

El acuerdo llevará consigo la declaración de utilidad pública a efectos de expropiación forzosa de bienes y derechos y de ocupación temporal de los bienes que sean necesarios para los trabajos de rehabilitación.

6. Directiva de Hábitats y de Aves

La Directiva 92/43 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, conocida como directiva Hábitats, establece por primera vez el principio de conservación de los hábitats naturales como tales y no solo como el medio en el que viven las especies. Contempla los Lugares de Importancia Comunitaria (LIC) y las Zonas Especiales de Conservación (ZEC), integrados por lugares que alberguen tipos de hábitats del anexo I y taxones (grupos de organismos emparentados) del anexo II.

La designación de las ZEC pasa por las siguientes fases:

- Creación de la lista nacional, propuesta por cada Estado miembro de una serie de lugares de interés tomando como base los criterios del anexo III de la directiva.
- Selección de los Lugares de Importancia Comunitaria, la Comisión Europea efectúa la selección en colaboración con los Estados miembros y asesorada por el Centro Temático de la Naturaleza de la Agencia Europea de Medio Ambiente de aquellos lugares que por sus valores específicos deben formar parte de la red Natura 2000.
- Designación de ZEC de los lugares incluidos en la lista de Lugares de Importancia Comunitaria por parte de los Estados miembros, en España esta declaración la hacen las CCAA y debe hacerse lo antes posible y como máximo en un plazo de 6 años, fijando las prioridades en función de la importancia de los lugares y de las amenazas de deterioro que pesen sobre ellos.

La Directiva 2009/147 de conservación de las aves silvestres, conocida como directiva Aves, contempla unas Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA). La designación de un territorio como ZEPA se realiza tras la evaluación de la importancia del lugar para la conservación de los hábitats de las aves, incluidas en el anexo I de la Directiva Aves, y consta únicamente de una etapa. Igualmente, en el caso español, son las CCAA las que declaran las ZEPAs.

La Red Ecológica Europea Natura 2000 es una red ecológica coherente compuesta por los LICs, hasta su transformación en ZECs, dichas ZECs y las ZEPAs. Los LICs, las ZECs y las ZEPAs tendrán la consideración de espacios protegidos, con la denominación de espacio protegido Red Natura 2000.

MEA1T7. El régimen económico financiero de la Ley de Aguas

1. El régimen económico financiero de la Ley de Aguas

Las Administraciones públicas competentes, en virtud del principio de recuperación de costes y teniendo en cuenta proyecciones económicas a largo plazo, establecerán los oportunos mecanismos para repercutir los costes de los servicios relacionados con la gestión del agua, incluyendo los costes ambientales y del recurso, en los diferentes usuarios finales.

La aplicación del principio de recuperación de los mencionados costes deberá hacerse de manera que incentive el uso eficiente del agua y, por tanto, contribuya a los objetivos medioambientales perseguidos.

Asimismo, la aplicación del mencionado principio deberá realizarse con una contribución adecuada de los diversos usos, de acuerdo con el principio del que contamina paga, y considerando al menos los usos de abastecimiento, agricultura e industria. Todo ello con aplicación de criterios de transparencia.

A tal fin la Administración con competencias en materia de suministro de agua establecerá las estructuras tarifarias por tramos de consumo, con la finalidad de atender las necesidades básicas a un precio asequible y desincentivar los consumos excesivos.

Para la aplicación del principio de recuperación de costes se tendrán en cuenta las consecuencias sociales, ambientales y económicas, así como las condiciones geográficas y climáticas de cada territorio y de las poblaciones afectadas siempre y cuando ello no comprometa los fines ni el logro de los objetivos ambientales establecidos.

Mediante resolución de la Administración competente, que en el ámbito de la Administración General del Estado corresponderá al MITECO, se podrán establecer motivadamente excepciones al principio de recuperación de costes para determinados usos teniendo en cuenta las mismas consecuencias y condiciones mencionadas y sin que, en ningún caso, se comprometan los fines ni el logro de los objetivos ambientales correspondientes. Para ello, los organismos de cuenca emitirán en el plazo de tres meses, con carácter preceptivo y previo a la resolución que se adopte, informe motivado que, en todo caso, justifique que no se comprometen ni los fines ni los logros ambientales establecidos en las respectivas planificaciones hidrológicas.

El Texto Refundido de la Ley de Aguas contempla las siguientes exacciones:

- Canon de utilización de bienes de DPH, por la ocupación de terrenos (cauces de corrientes naturales o lechos de lagos, lagunas y embalses) o utilización de bienes de DPH, incluyendo el aprovechamiento de sus materiales, que requieran concesión o autorización.
- Canon de control de vertidos, cuyo objeto es el vertido al DPH.
- Canon de regulación, cuyo objeto son las mejoras producidas por la regulación de caudales para los distintos usos (regadíos, abastecimiento, industria, etc.).
- Tarifa de utilización del agua, cuyo objeto es el aprovechamiento o disponibilidad del agua hecha posible por obras hidráulicas específicas financiadas total o parcialmente a cargo del Estado.
- Canon por utilización de las aguas continentales para la producción de energía eléctrica.

2. Canon de ocupación o utilización

- Fin: protección y mejora del DPH.
- Beneficiario: organismo de cuenca.
- Sujetos pasivos: concesionarios o personas autorizadas, exentos concesionarios de aguas por la ocupación o utilización de los terrenos de dominio público necesarios para llevar a cabo la concesión.
- Devengo de la tasa: con el otorgamiento inicial y el mantenimiento anual de la concesión y autorización, según cuantía y plazos fijados en la concesión o autorización.
- Base imponible: ocupación (valor de los terrenos), utilización (valor de la utilización o del beneficio obtenido de ella), y aprovechamiento (por el valor de los materiales consumidos o la utilidad que reporten).
- Tipo de gravamen: 5% para ocupación y utilización y 100% para aprovechamiento.
- Recaudador: en cuencas intercomunitarias el organismo de cuenca o administración tributaria del Estado, en virtud de convenio con el organismo de cuenca.

3. El canon de control de vertidos

- Fin: estudio, control, protección y mejora del medio receptor.
- Beneficiario: organismo de cuenca.
- Sujetos pasivos: quienes lleven a cabo el vertido, ya sea como titulares de las autorizaciones de vertido o como responsables de vertidos no autorizados.
- Devengo de la tasa: el 31-12 de cada año y se abona en el primer trimestre del año siguiente. En caso de vertidos no autorizados, además de imponer las sanciones que correspondan, se practica una sola liquidación por todos los ejercicios no prescritos (3 años para infracciones muy graves, 2 años para graves y 6 meses para leves), que se hará en la resolución de cese de vertidos si no son autorizados.

- Base imponible: volumen vertido.
- Tipo de gravamen: precio básico 0,01751 €/m³ para agua residual urbana y 0,04377 €/m³ para agua residual industrial multiplicado por un coeficiente de mayoración o minoración cuyo valor es igual o inferior a 5, y que se obtiene como el producto de 3 coeficientes en función de las características del vertido (agua residual urbana o industrial), del grado de contaminación del vertido (tratado o sin tratar) y de la calidad del medio receptor (se distinguen 3 categorías), debe constar en la autorización de vertido.
- Recaudador: en cuencas intercomunitarias el organismo de cuenca o administración tributaria del Estado, en virtud de convenio con el organismo de cuenca. Asimismo, en virtud de convenio las Comunidades Autónomas podrán recaudar el canon en su ámbito territorial. En este supuesto, la Comunidad Autónoma pondrá a disposición del Organismo de cuenca la cuantía que se estipule en el convenio, en atención a las funciones que en virtud del mismo se encomienden a la Comunidad Autónoma.
- Este canon es independiente del que puedan establecer las CCAA o las corporaciones locales para financiar obras de saneamiento y depuración. Si el sujeto pasivo del canon de vertido es gravado por otro de la C.A. con el mismo fin, podrá deducirse en el canon de vertido estatal ese canon autonómico.

4. Canon de regulación y tarifa de utilización del agua. Distribución entre los beneficiarios

- Fin: compensar los costes de inversión y los gastos de explotación y conservación de las obras de regulación (para el canon de regulación) o de las obras hidráulicas específicas (para la tarifa de utilización del agua) financiadas total o parcialmente por el Estado.
- Beneficiario: organismo de cuenca.
- Sujetos pasivos: beneficiados por las obras de regulación de aguas superficiales o subterráneas financiadas por el Estado (para el canon de regulación) o por las obras hidráulicas específicas (para la tarifa de utilización del agua).
- La cuantía de las exacciones para cada ejercicio presupuestario será suma de:
 - Gastos de funcionamiento y conservación.
 - Gastos de administración del organismo gestor imputables a dichas obras.
 - 4% de las inversiones realizadas por el Estado (debidamente actualizado, teniendo en cuenta la amortización técnica).
- Para el cálculo de los cánones y exacciones se introducirá un factor corrector (entre 0,5 y 2) según el beneficiado por la obra hidráulica consuma en cantidades inferiores o superiores a las dotaciones de referencia del Plan Hidrológico de cuenca.
- Recaudador: en cuencas intercomunitarias el organismo de cuenca o administración tributaria del Estado, en virtud de convenio con el organismo de cuenca.

Distribución entre beneficiados

La distribución del importe total entre todos los beneficiados de las obras se hará según criterios de:

- Racionalización del uso del agua.
- Equidad en el reparto de las obligaciones.
- Autofinanciación del servicio.

Se repartirá entre todos los usuarios actuales pudiendo establecerse un régimen transitorio cuando la puesta en servicio se efectúe gradualmente.

Para conseguir la equidad en el reparto de las obligaciones, se puede establecer según unidades de superficie cultivable, caudal, consumo de agua, energía o cualquier otro tipo de medida adecuada al uso de que se trate.

Cuando los obligados al pago estén agrupados en una Comunidad de Usuarios el pago se podrá realizar a través de ella.

5. Canon por utilización de las aguas continentales para la producción de energía eléctrica

- Fin: protección y mejora del DPH. Este canon solo es aplicable a las cuencas hidrográficas de competencia estatal.
- Beneficiario: 50% organismo de cuenca, destinado a financiar actividades de control, mejora y protección del DPH que se definirán reglamentariamente; y el 50% restante para financiar los costes del sistema eléctrico previstos en la Ley 24/2013 del sector eléctrico, referidos a fomento de energías renovables.
- Sujetos pasivos: los titulares de un aprovechamiento hidroeléctrico.
- Devengo de la tasa: con el otorgamiento inicial y el mantenimiento anual de la concesión hidroeléctrica.
- Base imponible: valor económico de la energía hidroeléctrica producida en cada periodo impositivo anual.
- Tipo de gravamen: 25,5%, se reducirá en un 92% para instalaciones hidroeléctricas ≤50 MW, y un 90% para instalaciones hidroeléctricas de bombeo y potencia superior a 50 MW, sobre la parte de la base imponible compuesta por el valor de la energía procedente de bombeo, en la forma que reglamentariamente se determine por incentivos de política energética general. Están exentos del canon los aprovechamientos explotados directamente por la AGE.
- Recaudador: el Organismo de cuenca o la Administración Tributaria del Estado, en virtud de convenio con aquel.

MEA1T8. Principios generales de la administración pública del agua

1. Principios generales de la administración pública del agua

El TRLA establece los siguientes principios rectores de la gestión en materia de aguas para el ejercicio de las funciones del Estado:

- Unidad de gestión, tratamiento integral, economía del agua, desconcentración, descentralización, coordinación, eficacia y participación de los usuarios.
- Respeto a la unidad de la cuenca hidrográfica, de los sistemas hidráulicos y del ciclo hidrológico.
- Compatibilidad de la gestión pública del agua con la ordenación del territorio, la conservación y protección del medio ambiente y la restauración de la naturaleza.

Por tanto, se utiliza el principio de unidad de cuenca hidrográfica como el criterio territorial de delimitación de competencias. Según la ley, la cuenca hidrográfica es el territorio en el que las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces secundarios que convergen en un cauce principal único. La cuenca hidrográfica, como una unidad de gestión del recurso, se considera indivisible.

La Demarcación Hidrográfica según la ley es la zona terrestre y marina compuesta por una o varias cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas a dichas cuencas. La demarcación hidrográfica es la principal unidad a efectos de gestión de cuencas.

Las demarcaciones hidrográficas competencia exclusiva de las CCAA son (13): cuencas internas de Cataluña, Galicia-Costa, cuenca Mediterránea Andaluza, DH del Tinto, Odiel y Piedras, DH del Guadalete-Barbate, Baleares y las 7 Canarias (una por cada isla). El País Vasco tiene competencias compartidas con el Estado en la DH del Cantábrico Oriental.

El resto de cuencas están organizadas en 12 demarcaciones hidrográficas competencia de la AGE:

- Cuencas intercomunitarias situadas en territorio español (4): DH Guadalquivir, DH Segura, DH Júcar y DH Cantábrico Occidental (Asturias y Cantabria aproximadamente).
- Parte española de las cuencas hidrográficas compartidas con otros países (8): DH Miño-Sil, DH Cantábrico Oriental, DH Duero, DH Tajo, DH Guadiana, DH Ebro, DH Ceuta y DH Melilla (adscritas a la CH del Guadalquivir).

2. El Consejo Nacional del Agua

Órgano consultivo superior en la materia creado por el TRLA que integra a la AGE, CCAA, organismos de cuenca, entes locales a través de la asociación de ámbito estatal con mayor implantación, entidades sin fines lucrativos de ámbito estatal cuyo objeto esté constituido por la defensa de intereses ambientales, organizaciones profesionales y económicas más representativas de ámbito estatal relacionadas con el agua y las organizaciones empresariales y sindicales más representativas en el ámbito estatal.

Informa preceptivamente:

- El Plan Hidrológico Nacional y los Planes Hidrológicos de Cuenca antes de su aprobación por el Gobierno.
- Disposiciones de carácter general de aplicación en todo el territorio nacional relativas a la protección de la calidad de las aguas y a la ordenación del DPH.
- Los planes y proyectos de interés general de ordenación del territorio que afecten a la planificación hidrológica o a los usos del agua.
- Las cuestiones comunes a dos o más organismos de cuenca en relación con los aprovechamientos del DPH.
- Informará también todas aquellas cuestiones formuladas por el Gobierno o las CCAA relacionadas con el DPH.

3. Los organismos de cuenca: configuración y funciones. Atribuciones y cometidos. Órganos de gobierno, administración y cooperación. Comité de autoridades competentes de las Demarcaciones Hidrográficas intercomunitarias. Hacienda y patrimonio

Los organismos de cuenca, en cuencas intercomunitarias, con la denominación de Confederaciones Hidrográficas, son organismos autónomos adscritos al MITECO a través de la Dirección General del Agua. Disponen de autonomía para administrar los intereses que les sean confiados, para adquirir y enajenar bienes y derechos, para contratar y obligarse, y para ejercer ante los Tribunales todo género de acciones. Sus actos y resoluciones ponen fin a la vía administrativa. Hay 9 Confederaciones Hidrográficas: Cantábrico, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro.

Sus **funciones** son:

- La elaboración, seguimiento y revisión del Plan Hidrológico de Cuenca.
- La administración y control del DPH y los aprovechamientos.
- El otorgamiento de concesiones y autorizaciones referentes al DPH, salvo las actuaciones de Interés General de Estado que corresponden al MITECO a través de la Dirección General del Agua.
- La inspección y vigilancia del cumplimiento de las concesiones y autorizaciones relativas al DPH.

- La realización de aforos, estudios de hidrología, información sobre crecidas y Control de la calidad de las aguas.
- El proyecto, la construcción y explotación de las obras con cargo a sus fondos y las que les sean encomendadas por el Estado.
- Las derivadas de convenios con CCAA, entidades locales, entidades públicas o privadas o particulares.
- La definición de objetivos y programas de calidad de acuerdo con la planificación hidrológica.
- La realización de planes y programas para una adecuada gestión de las demandas, promoviendo el ahorro y la eficiencia de los diferentes usos del agua mediante el aprovechamiento de las aguas subterráneas.
- La prestación de servicios técnicos y el asesoramiento a la AGE, CCAA, corporaciones locales y entidades públicas o privadas o particulares que lo soliciten.

Las Confederaciones Hidrográficas tienen sus propios **órganos de gobierno, de gestión, de planificación y de cooperación**. De la Presidencia dependen: Comisaría de Aguas, Dirección Técnica, Secretaría General y Oficina de Planificación Hidrológica.

Son órganos de gobierno: la Junta de Gobierno, y el Presidente que es nombrado y cesado por Consejo de Ministros a propuesta del Ministro para la Transición Ecológica.

Son órganos de gestión: la Asamblea de usuarios, constituida por todos los que forman parte de las juntas de explotación; las Juntas de explotación, órganos que coordinan la explotación de las obras hidráulicas; la Comisión de desembalse, órgano encargado de deliberar y formular propuestas para llenado y vaciado de embalses y acuíferos; y las Juntas de obras, órganos de futuros usuarios de las obras para estar informados de sus incidencias.

El órgano de participación y planificación es el Consejo del Agua de la demarcación, que eleva al Gobierno por medio del MITECO el Plan Hidrológico de Cuenca para su aprobación.

El órgano de cooperación para la protección de las aguas es el Comité de Autoridades Competentes de la demarcación, con las siguientes características:

- Composición: representantes de la AGE, las CCAA, y las entidades locales, cuyo territorio forme parte total o parcialmente de la demarcación hidrográfica. El nº de representantes de la AGE no será superior al de las CCAA.
- Funciones:
 - Favorecer la cooperación entre administraciones en la elaboración de planes y programas
 - Impulsar la adopción de acuerdos y convenios entre administraciones.
 - Supervisar la actualización del Registro de zonas protegidas.
 - Proporcionar a la UE a través del MITECO la información de la demarcación hidrográfica que se requiera.
- Funcionamiento: actuará ordinariamente en pleno.

Hacienda y patrimonio. Los organismos de cuenca cuentan con un patrimonio propio constituido por el que tuvieron antes del TRLA, adquieran con sus fondos o reciban de las administraciones, entidades públicas y privadas o de particulares. También se le pueden adscribir bienes por parte del Estado y las CCAA para el cumplimiento de sus fines, estos bienes adscritos conservarán su calificación jurídica, correspondiendo tan solo al organismo de cuenca su utilización, administración y explotación.

Los ingresos de los organismos de cuenca son: los productos y rentas de su patrimonio; los de explotación de las obras; las remuneraciones por la redacción de proyectos, dirección y ejecución de obras; las asignaciones presupuestarias de la Administración; los procedentes de recaudación de cánones; aportaciones de los usuarios; o cualquier otra percepción legalmente autorizada.

4. Régimen jurídico de las comunidades de usuarios. Derechos y obligaciones. Reparto y distribución del agua

Régimen jurídico. Son beneficiarios del agua y otros bienes de DPH de una misma toma o concesión (p.e. comunidades de regantes), son corporaciones de derecho público adscritas al organismo de cuenca con sus propios estatutos. Tienen una organización mínima constituida por:

- Junta general o Asamblea: todos los usuarios, órgano soberano, le corresponden todas las facultades no atribuidas a otros órganos.
- Junta de gobierno: elegida por la Junta general, es el órgano ejecutivo.
- Jurado: debe decidir en cuestiones entre usuarios, imponer sanciones o indemnizaciones.

Derechos y obligaciones. Los usuarios aprueban los Estatutos que regulan la organización de la comunidad y la explotación de los bienes hidráulicos, el organismo de cuenca solo podrá modificarlos previo dictamen del Consejo de Estado; las comunidades de usuario están obligadas a realizar las obras que la administración les ordene para evitar el mal uso del agua o el deterioro del DPH; los acuerdos de la Junta General y de la Junta de Gobierno en el ámbito de sus competencias son ejecutivos; las comunidades de usuarios se benefician de la expropiación forzosa y de la imposición de servidumbres que exijan sus aprovechamientos.

Reparto y distribución del agua. Las funciones más importantes de una comunidad de usuarios son la justa distribución del agua y la conservación de las obras necesarias para su reparto, lo cual se ejerce con tareas de control, seguimiento y vigilancia.

MEA1T9. Objetivos generales de la planificación hidrológica

1. Objetivos generales de la planificación hidrológica

El TRLA, RDL 1/2001, prevé 3 tipos de planes hidrológicos:

- Plan Hidrológico Nacional, elaborado por el MITECO, en coordinación con el resto de departamentos ministeriales y previa participación de las CCAA, es aprobado por las Cortes Generales mediante Ley.
- Planes Hidrológicos de Cuencas Intercomunitarias, elaborados por los organismos de cuenca y aprobados por el Gobierno.
- Planes Hidrológicos de Cuencas Intracomunitarias, elaborados por las administraciones hidráulicas autonómicas y aprobados por el Gobierno si se ajustan a la legislación vigente y no afectan a recursos de otras cuencas.

Los objetivos generales de la planificación hidrológica son:

- Buen estado y adecuada protección del DPH.
- Satisfacción de las demandas de agua.
- Equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial.
- Protección de la calidad del agua.
- Incrementar disponibilidad del recurso, economizando su empleo y racionalizando sus usos en armonía con el medio ambiente.

2. La Ley de Aguas y sus reglamentos en relación con la planificación hidrológica

La planificación hidrológica es una de las novedades más importantes del TRLA que ya en el preámbulo alude a su necesidad. De los tres reglamentos: RDPH, reglamento de administración pública del agua y de la planificación hidrológica, y reglamento de la planificación hidrológica de 2007; es este último el que regula el contenido de los planes, su elaboración y aprobación, y su seguimiento y revisión.

Tras la modificación del TRLA mediante la Ley 62/2003 de medidas fiscales, administrativas y del orden social, se establece que el ámbito territorial de cada plan hidrológico de cuenca será coincidente con el de la demarcación hidrográfica correspondiente.

3. Instrucción de planificación hidrológica

La orden ministerial de 2008 por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica establece los criterios técnicos para la homogeneización y sistematización de los trabajos de elaboración de los Planes Hidrológicos de Cuenca, incluyendo los requerimientos técnicos establecidos para la planificación por la nueva legislación asimilando las metodologías para la implantación de la Directiva Marco de Aguas, y recogiendo aspectos de nuestra legislación, como la determinación de caudales ecológicos introducida por el Plan Hidrológico Nacional. Es de aplicación en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.

Los elementos más importantes de la instrucción son: la identificación y delimitación de las masas de agua superficial, continentales, costeras y de transición y de las masas de agua subterránea; la designación de masas muy modificadas y artificiales; la evaluación del estado de estas masas y el establecimiento de objetivos ambientales; la caracterización de los usos del agua; el inventario de recursos hídricos; el régimen de caudales ecológicos en ríos y estuarios y las necesidades hídricas en lagos y humedales; la asignación y reserva de recursos o los programas de medidas.

4. El proceso de planificación hidrológica, elaboración y contenido de los planes hidrológicos de demarcación

El procedimiento para su elaboración y revisión viene regulado por el TRLA y el Reglamento de Planificación Hidrológica, que contempla la participación pública y de los departamentos ministeriales interesados, los plazos para presentación de propuestas por los organismos correspondientes y la actuación subsidiaria del Gobierno en caso de falta de propuesta.

Los planes hidrológicos de demarcación se deben someter a evaluación ambiental estratégica de acuerdo con lo establecido en la Ley 21/2013 de evaluación ambiental.

El Consejo del Agua de la demarcación es el encargado de promover la información, consulta y participación pública en el proceso planificador, y elevar al Gobierno, a través del MITECO, el plan hidrológico de la cuenca y sus ulteriores revisiones. Asimismo, podrá informar las cuestiones de interés general para la demarcación y las relativas a la protección de las aguas y a la mejor ordenación, explotación y tutela del dominio público hidráulico.

El MITECO remitirá las propuestas de Planes Hidrológicos de cuenca al Consejo Nacional del Agua para que emita el preceptivo informe donde se analice la compatibilidad entre los planes hidrológicos de demarcación y con el Plan Hidrológico Nacional. Una vez emitido el informe por el Consejo Nacional del Agua, el MITECO eleva al Gobierno el Plan Hidrológico para su aprobación si procede, que se realiza por Real Decreto.

Los planes hidrológicos de cuenca comprenderán obligatoriamente:

- La descripción general de la demarcación hidrográfica incluyendo la delimitación de aguas superficiales, continentales, costeras, de transición (incluyendo la motivación de las aguas artificiales y muy modificadas), y subterráneas.
- La descripción general de los usos, presiones e incidencias antrópicas significativas sobre las aguas, incluyendo el orden de preferencia y los caudales ecológicos.
- La identificación y delimitación de las zonas protegidas.
- Las redes de control establecidas para el seguimiento del estado de las aguas superficiales, subterráneas y de las zonas protegidas.
- La lista de objetivos medioambientales para las aguas superficiales, subterráneas y las zonas protegidas, incluyendo los plazos previstos para su consecución, y las condiciones para excepciones y prórrogas.
- El análisis económico del uso del agua.
- Los programas de medidas para alcanzar los objetivos previstos.
- Las determinaciones del Plan Hidrológico Nacional para el Plan Hidrológico de Cuenca.
- Un resumen de la información pública y las consultas efectuadas, y su repercusión en el Plan Hidrológico de Cuenca.
- La lista de autoridades competentes designadas.
- Los puntos de contacto y procedimientos para obtener la documentación de base y la información requerida por las consultas públicas.

En los planes de cuenca se podrán establecer reservas, de agua y terrenos, necesarias para las actuaciones y obras previstas. Los planes hidrológicos de cuenca se deben revisar cada 6 años.

Las 12 demarcaciones hidrográficas intercomunitarias de competencia estatal (incluida en ellas la del Cantábrico Oriental de competencias compartidas con el País Vasco) y las 13 demarcaciones hidrográficas intracomunitarias de competencia autonómica tienen aprobados los planes hidrológicos correspondientes al tercer ciclo de planificación (2022-2027) establecido por la Directiva Marco de Aguas. Todos estos planes hidrológicos han sido aprobados por el Gobierno de España mediante real decreto, excepto los correspondientes a las siete demarcaciones canarias que han sido aprobados por decreto del Gobierno de Canarias, porque estos planes hidrológicos se desarrollan mediante un procedimiento especial amparado por la Ley de Aguas de Canarias.

5. Programas de medidas de los planes hidrológicos. Criterios para la selección de las medidas. Financiación. Coordinación con otros Planes y Programas

La DMA y el TRLA señalan que en los planes hidrológicos debe establecerse un programa de medidas con el fin de alcanzar los objetivos medioambientales por parte de cada demarcación hidrográfica. Las medidas que componen el programa de medidas se clasifican en básicas y complementarias. Las básicas son los requisitos mínimos que deben cumplirse en cada demarcación para fomentar un uso eficiente y sostenible del agua, controlar la extracción y el almacenamiento del agua, así como los vertidos y otras actividades con incidencia en el estado de las aguas.

Las medidas complementarias son aquellas que deben aplicarse con carácter adicional, una vez aplicadas las medidas básicas, para la consecución de los objetivos medioambientales o para alcanzar una protección adicional de las aguas.

La estimación de los efectos de las medidas sobre el estado de las masas de agua de la demarcación se realizará, con carácter general, utilizando modelos de simulación de presiones e impactos basados en sistemas de información geográficos. En la selección del conjunto de medidas se tendrán en cuenta, además de los análisis coste-eficacia, los efectos de las distintas medidas sobre otros problemas medioambientales y sociales, aunque no afecten directamente a los ecosistemas acuáticos, de acuerdo con el proceso de Evaluación Ambiental Estratégica del plan.

Si del análisis de los efectos de las medidas propuestas por las administraciones competentes se desprendiera que no se alcanzan los objetivos previstos, a través del Comité de Autoridades Competentes se efectuarán las propuestas de medidas complementarias para alcanzarlos.

El plan hidrológico incluirá un resumen de los programas de medidas adoptados para alcanzar los objetivos previstos, con indicación de su coste y del plazo estimado para la consecución de los mismos, analizando su viabilidad económica.

En los Comités de Autoridades Competentes se deberán coordinar los distintos planes de medidas, sean acciones específicas o instrumentos generales aplicables a todo el ámbito de la demarcación. Para su integración en el plan, deberán coordinarse con los programas relativos a las aguas costeras y de transición.

Para la elaboración de los planes hidrológicos de cuenca hay que tener presente todas aquellas planificaciones sectoriales que afecten a la planificación hidrológica, tanto respecto a los usos del agua como a los del suelo, y especialmente con lo establecido en la planificación de regadíos y otros usos agrarios. Dichas planificaciones sectoriales se desarrollan en planes o programas, temáticos o especiales, que abordan temas como puede ser: el abastecimiento, saneamiento, depuración, protección del recurso, protección de espacios naturales, fenómenos extremos (inundaciones y sequías), hidrológico-forestales, etc.

MEA1T10. Evaluación de recursos existentes

1. Evaluación de recursos existentes: recursos en régimen natural, recursos disponibles y recursos libres

La evaluación de los recursos es una de las bases de la planificación hidrológica, para ello es preciso determinar su volumen y distribución en el tiempo. El procedimiento de evaluación consiste en la modelación hidrológica de los componentes básicos del ciclo del agua a la escala global del sistema evaluado, reproduciendo la interacción de las aguas superficiales y subterráneas.

En principio, los métodos de evaluación cuantitativa de los recursos hídricos suponen la determinación de los recursos renovables (aportación total), tanto de origen superficial como subterráneo, para una escala espacial (número y distribución de puntos en los que se evalúa el recurso) y temporal (condicionada por la futura gestión del sistema) prefijadas.

Lo ideal sería disponer de medidas continuadas (series de datos suficientemente largas con registros de distintos periodos consecutivos secos o húmedos que aporten variabilidad hidrológica) en los puntos de interés de la aportación de la red fluvial y de las fugas subterráneas. En la actualidad estos datos son proporcionados por las redes de medida existentes, tanto para aguas superficiales (Red Oficial de Estaciones de Aforo, red SAIH), como para aguas subterráneas (red de medida de niveles piezométricos en los acuíferos). Pero la realidad es que, por una parte, las series existentes son cortas o discontinuas y, por otra, en los puntos de interés no siempre existen observaciones. Por tanto, en la mayoría de los casos, la evaluación del recurso ha de realizarse por métodos indirectos basados en el uso de modelos de simulación continua de la cuenca por correlación con datos meteorológicos y con datos de aforo en estaciones próximas.

Se pueden clasificar los recursos de la siguiente manera:

- **Recursos en régimen natural**, los que existirían sin intervención humana, excluyendo trasvases, obras de regulación, derivaciones en río, extracciones en acuífero, etc. En España son aproximadamente 111.000 hm³/año.
- **Recursos potenciales (utilizables)**, restando la reserva ambiental (que se estima en un 20%), quedan unos 89.000 hm³/año.
- **Recursos disponibles**, son los que se pueden emplear para los distintos usos (según registros de aguas), unos 40.000 hm³/año.
- **Recursos libres**, existen en los sistemas excedentarios donde los recursos globales son mayores que las necesidades consuntivas, siendo la diferencia entre los recursos potenciales y los disponibles. Aun así, pueden tener problemas por insuficiencia de infraestructuras o por problemas de calidad, pero no por insuficiencia de recursos. En España se presenta superávit en la cuenca del Ebro (que transfiere a la demarcación del Cantábrico Occidental y Cuencas Internas de Cataluña) y en la cabecera del Tago (que transfiere a las cuencas del Júcar, Segura, Mediterránea Andaluza y Guadiana).

2. Las demandas

Demanda es la cantidad de agua a suministrar para satisfacer los diferentes usos: abastecimiento a poblaciones, regadíos, energéticos e industriales; cantidad hipotética que se utiliza para realizar el balance hidráulico, distinta del consumo que es la cantidad real utilizada.

Las demandas de agua se caracterizan por el volumen anual y su distribución temporal, condiciones de calidad exigibles al suministro, nivel de garantía, coste repercutible, consumo, retorno y sus condiciones de calidad previas a cualquier tratamiento. Vienen recogidas en los Planes Hidrológicos de Cuenca.

La demanda actual se cifra en unos 32.000 hm³/año, de los cuales un 80% corresponde a regadío, un 15% a abastecimiento de poblaciones e industrias, y un 5% a uso industrial.

Podemos clasificar la demanda en:

- **Demanda urbana**, para las necesidades domésticas, de servicios públicos, comerciales e industriales y pérdidas en la distribución. La demanda/nº de habitantes es la dotación que se sitúa entre 270 y 340 l/hab y día. Exige un nivel de garantía de prácticamente el 100%.
- **Demanda industrial**, sus necesidades vienen determinadas por las diferentes formas de utilización en las fábricas, función del tipo de producto y su cantidad, o del sistema de fabricación, por tanto, dependen mucho del tipo de industria, su dotación se mide en m³/empleado y día.
- **Demanda agraria**, las necesidades de agua para el regadío vienen determinadas por el tipo de cultivo y por la cuenca hidrográfica. La dotación se expresa en m³/ha y año. El Plan Nacional de Regadíos ayuda a estimar su evaluación. La previsión de esta demanda resulta muy compleja y está sometida a incertidumbres como el desarrollo futuro de los regadíos, las subvenciones de la política agraria común, los mercados agrícolas, etc., pero aun así los planes hidrológicos de cuenca han realizado su estimación considerando sus requerimientos, atendiendo a su viabilidad desde el punto de vista de la disponibilidad hídrica sin prejuzgar políticas sectoriales.

3. La demanda medioambiental

Los requerimientos medioambientales no suponen un uso del agua, sino que son restricciones en la propia utilización para la conservación del medio natural, como es concebido por la propia ley de aguas. En España se estima en un 20% de los recursos naturales, lo que supone unos 22.000 hm³/año.

4. Balances hidráulicos

Se plantean entre los recursos hídricos disponibles y las demandas con objeto de permitir la planificación de las medidas necesarias para adecuar ambos conceptos. El balance hídrico puede realizarse para cualquier periodo temporal, pero debe hacerse una distinción entre balances medios (interanuales) y balances operacionales (para periodos específicos, tales como un año, estación, mes o número de días).

5. Los sistemas de explotación de recursos: modelos de optimización y simulación de recursos

El Reglamento de Planificación Hidrológica establece que los planes hidrológicos definirán los sistemas de explotación en lo que funcionalmente se dividirá el territorio de la demarcación. Cada sistema de explotación de recursos está constituido por masas de agua superficial y subterránea, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación que, aprovechando los recursos hídricos naturales, y de acuerdo con su calidad, permiten establecer los suministros de agua que configuran la oferta de recursos disponibles del sistema de explotación, cumpliendo los objetivos ambientales.

Cada sistema de explotación de recursos se referirá a un horizonte temporal debiendo incluirse, en todo caso, el correspondiente a la situación existente al elaborarse el Plan. Los sistemas de explotación se referirán, además, a dos horizontes temporales, 2027 y 2039, en los que se considerará la satisfacción de las demandas previsibles. Estos horizontes se incrementarán en seis años en las sucesivas actualizaciones de los planes.

Sin perjuicio de los sistemas de explotación parciales que puedan definirse en cada Plan, se definirá un sistema de explotación único en el que, de forma simplificada, queden incluidos todos los sistemas parciales y con el que se posibilite el análisis global de comportamiento en toda la demarcación hidrográfica. En el Plan se indicará la agrupación de recursos, demandas, infraestructuras de almacenamiento y masas de agua llevada a cabo a partir de los sistemas parciales, en su caso, para definir el sistema de explotación único.

La modelización de los sistemas hídricos es de gran utilidad en la planificación hidrológica para predecir el funcionamiento de las infraestructuras hidráulicas, se clasifican en:

- **Modelos de simulación**, reproducen el comportamiento del sistema ante determinadas acciones exteriores y decisiones en su gestión.
- **Modelos de optimización**, seleccionan directamente la solución óptima al problema planteado, son muy complejos por el algoritmo de optimización y la elección de la función objetivo.

6. Rasgos básicos del balance hidráulico nacional

Por el lado de la demanda es previsible un aumento de población en la mitad sur agravada con el turismo que requiere garantía del 100% en regiones con mayores déficits hídricos.

En cuanto a los recursos naturales se pueden resaltar los siguientes datos:

- España peninsular, precipitación media anual 660 mm, escurrimiento 220 mm, aportación 111.000 hm³/año.
- Distribución muy irregular de la escurrimiento, cornisa cantábrica >700 mm/año, resto <250 mm/año, Segura 50 mm/año (casi 20 veces inferior a Galicia y 5 veces inferior a la media).

A la irregularidad espacial se une la irregularidad temporal, en la cuenca del Guadiana la relación entre las aportaciones anuales máxima y mínima puede llegar a 30, en las menos irregulares como la cornisa cantábrica es aproximadamente 3.

La recarga de acuíferos se estima en unos 29.000 hm³/año (26% de los recursos en régimen natural).

Para paliar la extrema irregularidad se cuenta con:

- Regulación en embalses.
- Explotación de aguas subterráneas.
- Realización de trasvases.
- Utilización de recursos no convencionales.

La capacidad de agua embalsada en España, atendiendo a la vertiente a que corresponden los ríos regulados, es:

- Vertiente atlántica 42.000 hm³
- Vertiente mediterránea 14.000 hm³

Los recursos disponibles en España son unos 40.000 hm³/año, que representan un 36% de los recursos naturales.

De las aguas subterráneas se explotan unos 5.500 hm³/año (~20% de la recarga) con los que se atiende un 30% de los abastecimientos urbanos e industriales, y un 27% de la superficie de riego. La mayor utilización se da en las cuencas del Júcar y Guadiana, en ésta supera incluso a la recarga. En las cuencas Mediterránea Andaluza, Segura, cuencas internas de Cataluña y las islas, la utilización de acuíferos se sitúa entre el 50% y el 80% de la recarga. En Duero, Ebro y Guadalquivir la utilización de las aguas subterráneas es muy pequeña a pesar de tener acuíferos importantes.

En cuanto a los recursos no convencionales, aguas regeneradas y desaladas, representan aproximadamente un 2% del total, y aunque no pueden considerarse significativos desde un punto de vista global, resultan imprescindibles para resolver graves problemas locales.

MEA1T11. Hidrología

1. Hidrología

La hidrología estudia el ciclo del agua en la naturaleza y su circulación superficial y subterránea.

2. Ciclo hidrológico

Es el movimiento continuo de agua entre la Tierra y la atmósfera. Se produce vapor de agua por evaporación en la superficie terrestre y en las masas de agua, y por transpiración de los seres vivos. Este vapor circula por la atmósfera y precipita en forma de lluvia o nieve, que primero es interceptada por la cubierta vegetal, luego cae al terreno, rellena las depresiones y se infiltra para humedecer el suelo, proporcionar agua a las raíces de las plantas o recargar acuíferos, cuando se supera la tasa de infiltración el resto discurre sobre la superficie como escorrentía.

En el ciclo hidrológico tiene una importancia fundamental la atmósfera, que desempeña, además del papel de depósito de vapor de agua, el de elemento de transporte, de distribución y de captador de calor.

Las magnitudes que intervienen, en mayor o menor medida, en el ciclo hidrológico son las siguientes:

- Índices de humedad, el contenido de vapor de agua en la atmósfera es muy variable y se evalúa mediante índices como la humedad absoluta, la humedad relativa, la tensión de vapor, etc.
- Enfriamiento del aire, para que existan precipitaciones tienen que producirse previamente en la atmósfera condensaciones, que se llevarán a efecto tras un enfriamiento del aire húmedo hasta alcanzar la saturación, o lo que es lo mismo la tensión de vapor tendrá que crecer hasta alcanzar el valor de la tensión de vapor saturante.
- Precipitación, agua de procedencia atmosférica que cae sobre la superficie terrestre, bien en forma líquida (llovizna, lluvias o chubascos) o en forma sólida (nieve o granizo). A veces se depositan en el suelo ciertas cantidades de agua por condensación o sublimación de vapor atmosférico sobre el mismo (rocíos o escarchas), en general son cantidades muy pequeñas que se evaporan o subliman rápidamente por lo que ni se miden ni se computan en el cálculo del balance hídrico. Sin embargo, estas precipitaciones, llamadas ocultas, tienen un gran interés en agricultura.
- Evaporación, es el volumen de agua que se evapora del suelo y la cubierta vegetal.
- Transpiración, es el volumen de agua utilizado por la vegetación.
- Evapotranspiración, es la suma del volumen de agua utilizado por la vegetación (transpiración) y la que se evapora directamente del suelo y de la cubierta vegetal (evaporación).
- Evapotranspiración potencial, es la cantidad de agua transpirada por unidad de tiempo por un cultivo herbáceo de corta altura, que cubra completamente el suelo, con altura uniforme y nunca escaseo de agua. Es el valor que hubiese alcanzado la evapotranspiración si, permanentemente, se hubiera contado con la humedad suficiente para que la evapotranspiración fuese la máxima posible acorde con las condiciones climáticas.
- Intercepción, es el agua almacenada sobre las hojas y tallos de la cubierta vegetal. Cuando se llena este almacenamiento toda la precipitación alcanza el suelo. El volumen retenido como intercepción se evapora rápidamente al cesar la lluvia. La capacidad máxima de almacenamiento puede oscilar entre 1 y 5 mm, según la cubierta vegetal existente sobre la cuenca.
- Escorrentía, flujo sobre el terreno del agua que excede la tasa de infiltración del suelo una vez descontada la intercepción y la evapotranspiración.
- Infiltración, parte de la precipitación que penetra en el suelo constituyendo su humedad, alimentando las raíces y filtrándose hacia estratos inferiores.
- Otras magnitudes climáticas son la temperatura, la velocidad y dirección de los vientos, y la radiación solar.

3. Red Integrada de Estaciones de Aforos (SAIH-ROEA), el Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) y las redes de control de aguas subterráneas

La red de aforos. La medida de las aguas superficiales en España se realiza mediante la Red Oficial de Estaciones de Aforo (SAIH-ROEA), cuya operación y mantenimiento están a cargo de los organismos de cuenca y consta de más de 1.000 puntos de control que se distribuyen en ríos, canales y embalses. Con los datos obtenidos se publica el “Anuario de aforos” y el “Boletín Hidrológico” que permite conocer las reservas hidráulicas.

El SAIH (sistema automático de información hidrológica), nació en 1983 y en 1985 comenzó a implantarse en la cuenca del Júcar. Responde a la necesidad de racionalizar y agilizar el proceso de toma de decisiones en 3 aspectos fundamentales de la gestión hidráulica de las cuencas: gestión global de los recursos hidráulicos, previsión y actuación en avenidas, y vigilancia de los niveles de contaminación de las aguas de ríos y canales. Tiene una red de telemedida y telecontrol que registra datos pluviométricos, hidrológicos y de situación de los embalses en un gran número de puntos y los transmite en tiempo real a los organismos de cuenca. Se estructura en 3 niveles: puntos de control, puntos de concentración y centros de proceso de cuenca, y tiene 3 formas de funcionamiento: situación normal (datos cada 15 minutos), situación de crisis (cada 5 minutos) y terminal virtual (en tiempo real).

El SAICA (sistema automático de información de calidad de las aguas), nació en 1993, cuenta con aproximadamente 200 estaciones que miden de modo continuo en las aguas superficiales una serie de parámetros indicadores de calidad y envían los datos en tiempo real vía satélite a un centro de control donde personal especializado estudia la información recibida. Si se detecta una alteración de calidad se pone en marcha un dispositivo destinado a evitar su propagación, reducir los efectos a los usuarios e investigar la causa de la incidencia. Los criterios principales de su emplazamiento son: la protección de abastecimientos importantes y el control aguas abajo de importantes focos de vertido. En las estaciones se determinan una serie de parámetros considerados como indicadores generales de contaminación: pH, temperatura del agua, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, amonio, carbono orgánico, cloruros y nitratos.

La red ICA (red integrada de la Calidad de las Aguas), se diseñó en 1993 e integró la red COCA (control oficial de la calidad del agua), la red COAS (control oficial de abastecimientos), la red Ictiofauna (cuyo objeto es conocer la aptitud del agua para albergar peces) y la red SAICA. Tras la entrada en vigor de la DMA, se ha pasado de la antigua red ICA, formada por estaciones de control físico-químico únicamente, a la denominada red CEMAs (Red de Control del Estado de las Masas de Agua Superficiales), en la cual se miden indicadores físico-químicos, biológicos e hidromorfológicos.

La red de Control de las aguas subterráneas, el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) implantó en los años 70 la Red de Observación de la Calidad de las Aguas Subterráneas (ROCAS) y la red de observación de la intrusión marina en los acuíferos costeros (ROI), tratando la información piezométrica y de calidad de forma sistemática a partir de 1985. En 2001 la gestión de las redes se traspasa a la Dirección General del Agua y a los Organismos de cuenca, iniciando el proceso de adaptación a los criterios que establece la Directiva Marco del Agua, constituyendo en la actualidad dos redes: una de Seguimiento y Control del Estado Cuantitativo (red piezométrica con más de 2.700 puntos) y otra de Seguimiento y Control del Estado Químico (con cerca de 4.500 puntos: sondeos en explotación, piezómetros y manantiales).

4. Los SIG y su aplicación a la gestión de los recursos hidráulicos

Los SIG son una herramienta muy útil para la gestión y procesamiento de los datos hidrológicos y de la calidad del agua en una cuenca con el fin de gestionar adecuadamente los recursos hídricos.

De forma simplificada se puede decir que un SIG es un sistema de gestión y análisis de una base de datos geográficos, cuyas funciones básicas son:

- Adquisición de datos y preprocesado.
- Gestión, almacenamiento y recuperación de la información.
- Manipulación y análisis.
- Producción de mapas.

Los SAIH de las confederaciones han implantado SIG con objeto de analizar la información disponible sobre la cuenca (ríos, infraestructuras, estaciones de medida) y los datos hidrometeorológicos recibidos durante un episodio de lluvia.

Otras aplicaciones son:

- Integrados con técnicas de teledetección, para localizar y ubicar superficies de agua.
- Integrados con modelos hidráulicos, para simular la propagación de caudales y niveles de agua en avenidas.
- Simulación del ciclo hidrológico de forma precisa.
- Estudio de alteraciones que se producen en el ciclo hidrológico como consecuencia de las intervenciones humanas sobre las características naturales de la cuenca.
- Sistema de apoyo a decisiones (SAD) que permiten gestionar los recursos hídricos en conjunción con usos económicos y restricciones ambientales.

5. Orden TED/1191/2024 por la que se regulan los sistemas electrónicos de control de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua, los retornos y los vertidos al dominio público hidráulico

El TRLA obliga a los titulares de usos privativos de aguas a instalar y mantener sistemas de medición que den información de los volúmenes de agua utilizados por los aprovechamientos de agua del DPH, de los retornos al citado DPH y de los vertidos al mismo.

La orden TED/1191/2024 regula los referidos sistemas de medición, su instalación y mantenimiento, los procedimientos para registrar las mediciones, mantener esa información, comunicarla a los organismos de cuenca, y la inspección por parte de los mismos de los medios de medida instalados por los usuarios.

La orden distingue dos grupos de captaciones, de acuerdo con las características técnicas del tramo donde se practica la medición: captaciones de agua mediante tubería a presión, o en lámina libre.

En relación con el volumen anual máximo autorizado en el título habilitante se consideran tres categorías: 1ª <20.000 m³, 2ª 20.000-500.000 m³ y 3ª >500.000 m³.

La orden ministerial admite que el organismo de cuenca pueda autorizar, en su caso, el control de los volúmenes por métodos indirectos fiables, en particular mediante la medida de la energía eléctrica consumida o producida, realizando con periodicidad adecuada el contraste de la equivalencia entre los parámetros físicos correspondientes (volumen circulante y energía consumida o producida).

MEA1T12. Regulación

1. Regulación

Consiste en armonizar las aportaciones del río (variables en el tiempo) con las demandas a satisfacer. Esto se consigue creando embalses que puedan almacenar los volúmenes de agua de caudales fluyentes superiores a los consumos, que serán suministrados cuando los consumos sean superiores a los caudales fluyentes disponibles en el río.

Por tanto, para estudiar la regulación es preciso conocer las aportaciones de la cuenca en el punto donde se ubica el embalse y las demandas a satisfacer, obteniéndose como resultado las capacidades de embalse para diferentes garantías de regulación.

Las aportaciones son el resultado de la superposición de fenómenos de ciclo anual y superior al anual. Por ello se distingue entre regulación anual e interanual, si afecta a cada año hidrológico por separado o si se pretende utilizar aportaciones de unos años para garantizar servicio en otros. La regulación interanual es con mucho la de mayor interés y complejidad.

Para el estudio de las aportaciones se parte de datos existentes en los últimos años (cuanto más amplia es la serie de datos disponible mejor) y a partir de ellos se extrapola a futuro con diversas técnicas estadísticas más o menos depuradas:

- Aleatorio sin reposición.
- Aleatorio con reposición.
- Ajuste de ley de distribución a la serie disponible y sorteo para el futuro.
- Cadenas de Markow, que consideran una cierta influencia de la aportación de un año en el siguiente porque está comprobada una marcada tendencia a que un año húmedo es sucedido por otro húmedo y lo mismos con los secos, como consecuencia del efecto de los acuíferos sobre los caudales de un río que se extiende mucho más allá del periodo de lluvias.

2. Garantía de la regulación. Criterios de garantía

La garantía de regulación es la probabilidad de alcanzar la demanda requerida.

La garantía en volumen es el porcentaje del volumen demandado que se puede atender en un cierto periodo de tiempo. La garantía en tiempo es el porcentaje de tiempo que se pueden atender completamente las demandas volumétricas, para la cual es preciso definir la unidad temporal a efectos del cálculo (días, semanas, meses o años).

Para establecer la garantía deseable se deben considerar los siguientes factores:

- Uso de que se trate, no es lo mismo abastecimiento que recreativo, por ejemplo.
- Efectos de las restricciones.
- Posible reducción de la demanda en periodos de sequía.
- Frecuencia de restricciones admisibles para los consumidores.
- Posibilidad de acudir a otros recursos existentes en periodos de sequía, por ejemplo, aguas subterráneas.

La Instrucción de Planificación hidrológica establece los niveles de garantía. Considera satisfecha la demanda urbana cuando el déficit en un mes no sea superior al 10% de la correspondiente demanda mensual, y en diez años consecutivos, la suma de déficit no sea superior al 8% de la demanda anual. La demanda agraria la considera satisfecha cuando el déficit en un año no sea superior al 50% de la correspondiente demanda, en dos años consecutivos la suma de déficit no sea superior al 75% de la demanda anual, y en diez años consecutivos la suma de déficit no sea superior al 100% de la demanda anual.

3. Modelos matemáticos de regulación

Para la determinación del embalse interanual o para el cálculo de la garantía de un determinado embalse se construye una larga serie aleatoria de aportaciones con la que se trabaja con diversas técnicas, es en esencia un "juego de simulación" (se suele llamar método Monte Carlo).

Existen diversos modelos matemáticos de tratamiento de estas series aleatorias artificiales, los más usuales son el de las diferencias acumuladas y el de las desviaciones acumuladas.

En el de las diferencias acumuladas se estudian los valores que toman las sumas sucesivas de las diferencias entre volúmenes a suministrar y aportaciones, la mayor de estas sumas da la capacidad del embalse necesaria para dar el servicio.

En el de las desviaciones acumuladas se utilizan las sumas de diferencias de aportaciones respecto a la aportación media en periodos de n años y se analiza la función que relaciona el número de periodos n , la desviación acumulada y la probabilidad de superarla.

Cualquiera que sea el método “estadístico-probabilístico” que se utilice conduce a un volumen de operaciones inabordable sin la utilización de los ordenadores.

Otros métodos empleados para calcular el embalse o la garantía interanual de suministro son, entre otros:

- Diagramas de Becerril, elaborados en 1959, permiten obtener el volumen de embalse necesario a partir de la ley de frecuencia de las aportaciones anuales, de la demanda y del nivel de garantía.
- Método de Alexander, generalización del método del caudal mínimo, que se basa en el empleo sólo de las secuencias de menores aportaciones dentro de la serie histórica.
- Método de Dincer, similar al de Alexander en el que se supone que las sumas de aportaciones siguen una distribución normal.
- Método de la distribución gamma de Gould, similar al de Dincer combinando la distribución normal con la distribución gamma.
- Método empírico de Mc Mahon, desarrollado a partir del análisis de 156 ríos en Australia se dedujo una expresión empírica que depende de los niveles de demanda y de las probabilidades de fallo.
- Método de Hardison, mediante el empleo de una matriz de probabilidades se obtuvieron las capacidades de embalse necesarias para diferentes niveles de demanda y probabilidades de fallo utilizando varias distribuciones teóricas de las aportaciones anuales, resumiendo los resultados en una serie de gráficos correspondientes a las diferentes distribuciones teóricas de las aportaciones anuales (normal, lognormal o Weibull).

Todos estos métodos matemáticos son los empleados habitualmente en los denominados modelos de gestión de sistemas de recursos hídricos superficiales, que tratan de reproducir el funcionamiento de los mismos, para lo cual hay que considerar las acciones exteriores (aportaciones), las características de las infraestructuras (capacidad de los embalses y las conducciones), las demandas existentes y las reglas de gestión con que se explotan los sistemas. Se utilizan tanto modelos de simulación (que reproducen de forma detallada el comportamiento del sistema frente a determinadas acciones) como modelos de optimización (que seleccionan directamente la solución óptima).

La solución más habitual en la que se utilizan estos modelos es la de analizar el sistema de recursos mediante modelos de simulación en los que es preciso incluir con adecuados algoritmos matemáticos las mencionadas reglas de gestión. Los resultados del funcionamiento del sistema en cuanto a lo satisfactorio de las demandas e infraestructuras solo serán válidos si las reglas de gestión incluidas en el modelo son adecuadas. Unas malas reglas de gestión pueden conducir a resultados muy conservadores, mientras que unas reglas óptimas pero imposibles de llevar a cabo sobrevaloran el rendimiento hídrico del sistema.

La obtención de las reglas de explotación no es un problema de fácil solución, máxime en los sistemas reales de una gran complejidad, y es en este campo donde los modelos de optimización son utilizados como una herramienta de gran utilidad. En el caso de un sistema simple compuesto por un solo embalse y una zona de demanda es posible definir de forma sencilla una regla de operación consistente simplemente en atender la demanda cuando esto sea posible. En el caso de sistemas hídricos más complejos, como son los habituales en la realidad, compuestos por varios embalses y varias zonas de demandas, el establecer reglas de gestión es tarea más compleja que depende en gran medida de la experiencia del proyectista.

Los principales modelos comerciales de gestión de recursos hídricos son el HEC-3 y HEC-5 del Hydrologic Engineering Center del Us Army Corps of Engineers, software de la Universidad Politécnica de Valencia (SIMGES y OPTIGES) o el MODSIM de la Universidad de Colorado.

Por último, es importante recordar que, aunque el balance hídrico de una cuenca resulte positivo, no quiere decir que no vaya a haber problemas de agua en dicha cuenca. El balance anual no tiene en cuenta ni la variabilidad mensual de los recursos hídricos, ni la variabilidad espacial entre los recursos y demandas dentro de la cuenca analizada, por lo que hacen falta herramientas que contemplen estas circunstancias. El balance hídrico no es más que una primera aproximación al estado general de los recursos hídricos de un territorio, el cual permite determinar el grado máximo de uso de dichos recursos, pero se hace necesario estudiar los sistemas de explotación mediante modelos matemáticos de gestión que contemplen la citada variabilidad temporal y espacial de los recursos, así como las reglas de gestión, para poder así diagnosticar déficits locales, faltas de garantía, etc.

4. Leyes de distribución de aportaciones

A partir de los datos estadísticos que se tengan del río se obtiene, con la precisión posible, la función de distribución de sus aportaciones, que se considera aleatoria en su carácter anual, pero no así en la distribución de aportaciones dentro de cada año, donde un mes viene muy afectado por los precedentes e influye en los que le siguen.

La función de distribución de las aportaciones anuales se ajusta bastante bien a la Ley de Goodrick, mientras que para caudales máximos se ajusta mejor la ley de Gumbel.

Otras leyes estadísticas muy utilizadas son: Lognormal, Gamma, Pearson, Logpearson, Weibull, etc.

MEA1T13. Hidrología de las aguas subterráneas

1. Hidrología de las aguas subterráneas

Estudia la existencia de agua en el terreno y su circulación por él, también llamada hidrogeología.

Según la forma de estar el agua en el terreno se distinguen los siguientes tipos de agua:

- Agua de constitución, combinada químicamente con los materiales del terreno.
- Agua de retención, absorbida por las partículas del terreno mediante atracciones polares, dos tipos: agua higroscópica por fuerzas de absorción, y agua pelicular por fuerzas de adhesión.
- Agua capilar, rellena los canalículos entre las partículas del terreno y se mantiene por las fuerzas de capilaridad, dos tipos: aislada sin conexión con el agua de gravedad, o continua conectada con el agua de gravedad con presión menor que la atmosférica.
- Agua de gravedad o gravífica, que rellena los poros y fisuras, obedece solo a la acción de la gravedad y transmite la presión hidrostática.

Según la distribución vertical del agua en el suelo se distinguen 2 grandes zonas:

- Zona de saturación, los intersticios están llenos de agua, limitada superiormente por la superficie de saturación que es el nivel piezométrico.
- Zona de aireación, en los intersticios hay agua y aire.

El agua que interesa desde el punto de vista del aprovechamiento y la hidrogeología es el agua de gravedad que se sitúa en los acuíferos.

Las formaciones geológicas se clasifican en función de su capacidad para almacenar agua, transmitirla y recargarse en:

- Acuíferos, formaciones geológicas que ocupan la zona de saturación y que son capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades importantes, tienen una permeabilidad significativa, extensión y espesor considerables.
- Acuitardos, formaciones geológicas semipermeables, contienen agua en gran cantidad, pero la transmiten muy lentamente, pueden proporcionar recarga vertical importante al acuífero en contacto con él, son por ejemplo los limos y las arcillas arenosas.
- Acuicludos, formaciones porosas pero impermeables que contienen agua, pero no la transmiten, como las arcillas.
- Acuífugos, formaciones de porosidad nula sin capacidad para almacenar agua ni para transmitirla, rocas plutónicas inalteradas como el granito.

Según la formación geológica en que están, existen varios tipos de acuíferos:

- Acuífero libre o freático, la superficie del agua a presión atmosférica y coincide con el nivel piezométrico.
- Acuífero cautivo o confinado, acuífero limitado por formaciones impermeables, que configuran la superficie superior del agua independientemente del nivel piezométrico.
- Acuífero semiconfinado o semicautivo, es el acuífero cautivo que puede ganar o perder agua a través de los niveles confinantes.

Como concepto fundamental en la hidrología subterránea está la Ley de Darcy: $Q = k \cdot A \cdot (\Delta h / \Delta L)$, donde k coeficiente de permeabilidad, A área de la sección, Δh diferencia de presión, ΔL distancia, y $\Delta h / \Delta L$ gradiente hidráulico entre dos puntos. La permeabilidad es una característica de los suelos y las rocas, fundamentalmente de las sedimentarias, que representa la facilidad que tiene una formación geológica para dejarse atravesar por un fluido cuando existe una diferencia de presión entre ambas caras, k varía de $5 \cdot 10^{-10}$ cm/s (para algunas arcillas) a 0,5 cm/s (para arenas gruesas y arenas con gravas), para $k < 10^{-5}$ cm/s se consideran impermeables. La permeabilidad puede aumentar con el tiempo si el agua agranda los poros o disminuir si los colmata por los sólidos disueltos o en suspensión, crece con el aumento de presión y la temperatura, y disminuye con el aumento del espesor que ha de atravesar el agua y si disminuye el radio medio de la red capilar.

Otros conceptos importantes son:

- Transmisividad, caudal que se filtra a través de una franja de terreno de ancho unidad y altura la del acuífero en un plano ortogonal a la dirección del flujo bajo un gradiente hidráulico unidad y a una temperatura fija determinada.
- Coeficiente de almacenamiento, volumen de agua que puede ser liberado por un prisma de sección unidad y altura la del acuífero, cuando se produce un descenso unidad de la carga hidráulica (aplicable solo a acuíferos confinados porque en ellos el agua está a una presión superior a la atmosférica).
- Caudal específico, cociente entre el caudal de flujo y la superficie de la cuenca vertiente, se mide en $m^3/s/km^2$.

2. Utilización y aprovechamiento de aguas subterráneas: régimen de explotación

Con la ley de aguas de 1985 desaparece el carácter privativo de las aguas subterráneas que reconocía la ley de 1879. Los usos privativos se adquieren ahora por disposición legal ($< 7.000 m^3/año$ en un predio) o por concesión administrativa que otorga el organismo de cuenca con plazo no superior a 75 años y que deben especificar el volumen anual utilizable, el caudal máximo instantáneo, el uso de las aguas, la profundidad máxima del pozo, los instrumentos de medición de volúmenes, niveles y caudal, y cualesquiera otras condiciones que se estimen oportunas.

Para establecer los volúmenes máximos se tendrán en cuenta las determinaciones del correspondiente Plan Hidrológico, así como la evolución de los niveles piezométricos y de la calidad del agua.

Las distancias mínimas entre pozos en explotación, o entre pozo y manantial, serán fijadas en el correspondiente plan hidrológico, en su defecto esta distancia será de 10 m en suelo urbano y de 20 m en suelo no urbanizable, para caudales inferiores a 0,15 l/s, ampliándose a 100 m en el caso de caudales superiores al mencionado. Cuando el pozo se sitúe en márgenes fluviales dentro de la zona de policía será necesaria la autorización del organismo de cuenca, que verificará si con la extracción se detraen aguas superficiales con derecho preferente.

Los organismos de cuenca llevarán un Registro de aguas en el que se inscribirán de oficio tanto las concesiones de aguas superficiales como las de aguas subterráneas, así como los cambios autorizados que se produzcan en su titularidad o en sus características esenciales.

Los planes hidrológicos de cuenca establecerán para cada unidad hidrogeológica, en la medida en que sea posible, normas para el otorgamiento de autorizaciones de investigación o concesiones.

Régimen de explotación

Las explotaciones de aguas subterráneas iniciadas con posterioridad al 1 de enero de 1986 deben realizarse según las cláusulas de la correspondiente concesión, o en su caso con arreglo al TRLA. El régimen de las iniciadas antes, que constituyen la gran mayoría de las existentes, debía ajustarse a una de estas dos opciones: durante 3 años, de inscribir el aprovechamiento como temporal de aguas privadas por un plazo máximo de 50 años, teniendo al final de ese plazo preferencia para obtener la concesión; otra opción era la inclusión en el “catálogo de aguas privadas” sin protección administrativa, que finalizó con la entrada en vigor de la ley del Plan Hidrológico Nacional. En ambos casos, la modificación de las características esenciales del aprovechamiento requiere concesión; además son aplicables a ambos casos la normas que regulan la sobreexplotación y, en general, las relativas a las limitaciones en caso de sequía grave o de urgente necesidad.

3. Masas de agua subterráneas en riesgo de no alcanzar el buen estado cuantitativo o químico

La Junta de Gobierno del Organismo de cuenca, sin necesidad de consulta al Consejo del Agua de la demarcación hidrográfica, podrá declarar que una masa de agua subterránea está en riesgo de no alcanzar un buen estado cuantitativo o químico. En este caso, en el plazo de 6 meses, el Organismo de cuenca constituirá una comunidad de usuarios si no la hubiere, o encomendará sus funciones con carácter temporal a una entidad representativa de los intereses concurrentes. También, previa consulta con la comunidad de usuarios, la Junta de Gobierno aprobará en el plazo máximo de un año, desde que haya tenido lugar la declaración, un programa de actuación para la recuperación del buen estado de la masa de agua. Hasta la aprobación del programa de actuación, se podrá adoptar las limitaciones de extracción, así como las medidas de protección de la calidad del agua subterránea que sean necesarias como medida cautelar.

El programa de actuación ordenará el régimen de extracciones para lograr una explotación racional de los recursos con el fin de alcanzar un buen estado de las masas de agua subterránea, y proteger y mejorar los ecosistemas asociados; y contemplará las condiciones en las que temporalmente se puedan superar las limitaciones establecidas, permitiendo extracciones superiores a los recursos disponibles de una masa de agua subterránea cuando esté garantizado el cumplimiento de los objetivos medioambientales.

Cuando como consecuencia de la aplicación del programa de actuación se mejore el estado de la masa de agua subterránea, el organismo de cuenca, de oficio o a instancia de parte, podrá reducir progresivamente las limitaciones del programa y aumentar, de forma proporcional y equitativa, el volumen que se puede utilizar, teniendo en cuenta, en todo caso, que no se ponga en riesgo la permanencia de los objetivos generales ambientales.

4. Técnicas de investigación hidrogeológica y evaluación de recursos

Existen diversos **métodos de exploración de aguas subterráneas**:

- Métodos geológicos, estudian las formaciones geológicas donde queda retenida el agua.
- Métodos geofísicos, resistividad eléctrica, sísmica, gravimetría y testificación geofísica de sondeos.
- Métodos mecánicos, sondeos verticales y horizontales.
- Técnicas hidrogeológicas, conducen a una cuantificación más aproximada de los acuíferos subterráneos localizados en estudios previo de reconocimiento, se pueden enumerar las siguientes:
 - Obtención de datos básicos mediante una red de pozos y piezómetros que permiten conocer: el espesor del acuífero y sus oscilaciones de nivel, el valor aproximado de permeabilidad, transmisividad o coeficiente de almacenamiento, obtener muestras de agua.
 - Métodos de estimación de las características geométricas e hidrogeológicas de los acuíferos a partir de mapas litológicos y datos puntuales en piezómetros o pozos.
 - Estimación de funcionamiento del acuífero, en base a datos de precipitaciones y evapotranspiración y de las características geológicas y topográficas de la zona (da órdenes de magnitud y se debe tomar como una primera aproximación).
 - Empleo de técnicas especiales radioisotópicas, teledetección o el estudio hidroquímico.

Evaluación de los recursos. Volumen de agua = volumen del acuífero x porosidad, aunque no toda el agua del acuífero puede ser extraída, quedando una parte “atrapada”, que es el valor de retención específico.

MEA1T14. Usos de agua en abastecimiento a poblaciones

1. Usos de agua en abastecimiento a poblaciones

El abastecimiento de agua en las ciudades responde a un conjunto de demandas: domésticas, comerciales, industriales, municipales (riego de parques y jardines o baldeo de calles), los servicios contra incendios y las pérdidas. El porcentaje de cada uno de ellos está ligado a la configuración de la ciudad abastecida y es variable con el tiempo.

El abastecimiento a poblaciones es preferente frente a cualquier otro uso (regadío, almacenamiento para energía, producción de energía, industrial, acuicultura, recreativo o navegación) según el TRLA. El orden de prioridades que pudiere establecerse específicamente en los Planes Hidrológicos de cuenca, deberá respetar en todo caso la supremacía del abastecimiento de población, que incluye en su dotación la necesaria para industrias de poco consumo de aguas situadas en los núcleos de población y conectadas a la red municipal. En caso de incompatibilidad de usos, serán preferidos los de mayor utilidad pública, o que introduzcan mejoras técnicas que redunden en un menor consumo de agua o en el mantenimiento o mejora de su calidad.

2. Prognosis de la demanda de abastecimiento

Es habitual estimar la demanda de agua urbana en función de la población, multiplicándola por la dotación y asignándole a ésta un valor dependiendo de la actividad comercial o industrial de la población.

Para definir la población futura de una ciudad es preciso tener en cuenta, al menos los siguientes factores: los movimientos migratorios, la política de favorecer o no la concentración de poblaciones y el establecimiento de industrias, la ordenación del territorio, la tendencia general del país, y el turismo.

En general los métodos de cálculo de la demanda se encuadran en dos grandes grupos de métodos:

- Método global o de proyección tendencial, que consiste en extrapolar tendencias de la demanda, dotación o población que hayan sucedido en el pasado, estimando la demanda en el año horizonte a partir de ciertas tasas de crecimiento.
- Método analítico, en el que se analizan separadamente los distintos factores que influyen en la demanda total (datos de captaciones, consumos, población, forma de vida de los consumidores, condiciones socioeconómicas, usos del suelo, etc.) para formular hipótesis lo más realistas posibles sobre la evolución de la demanda en el futuro.

Para calcular las poblaciones en año horizonte los métodos más habituales, en general todos de tipo global, son:

- Método aritmético, supone un crecimiento aritmético de la población.
- Método exponencial, supone un crecimiento exponencial.
- Método de la curva logística, supone que la población evoluciona de manera combinada de los métodos anteriores, siendo una primera etapa exponencial y posteriormente aritmético, y por último alcanza un valor de saturación.
- Método de semejanza de poblaciones, calcula la población en el año horizonte asimilando su evolución a la de ciudades de características similares a la de estudio que ya hayan pasado por su estado de evolución demográfica.
- Método de la tasa de crecimiento, se supone que la población va a evolucionar en un futuro conforme a una tasa de crecimiento constante, $P = P_0 \cdot (1 + \alpha)^t$.
- Método MOPU, calculaba la tasa de crecimiento de los últimos 10 y 20 años, y consideraba como tasa futura la media ponderada de ambas con pesos 2/3 y 1/3 respectivamente.
- Tendencias actuales, por ejemplo, algunas confederaciones como la del Cantábrico consideran para poblaciones estabilizadas crecimientos inferiores al 1%, para poblaciones decrecientes 0%, y para poblaciones crecientes entorno al 2%, teniendo en cuenta los movimientos migratorios y datos sobre el turismo.

En los cálculos es fundamental considerar los habitantes equivalentes, teniendo en cuenta las previsiones de industrias y servicios que se conectan a la red municipal, además de la población permanente y estacional.

3. Dotaciones

Las dotaciones dependen de las estructuras sociales, la renta per cápita, la distribución de la población según niveles económicos y zonas industriales, y la población fija, eventual y estacional.

Los planes hidrológicos de cuenca han desarrollado estudios de demanda y la Instrucción de Planificación Hidrológica 2008 fija valores de dotaciones que son función del número de habitantes, disminuyendo las dotaciones a medida que la población aumenta, con valores que oscilan entre los 340 l/hab y día para poblaciones <50.000 habitantes y los 270 l/hab y día para poblaciones >500.000 habitantes.

4. Pérdidas en la red de distribución

Las finalidades de una red de distribución son: suministrar los caudales, asegurar un servicio continuo y conservar la calidad del agua hasta el punto de consumo.

Las pérdidas de una red de distribución son debidas principalmente a fugas en las conducciones, aparatos, bocas de riego, etc. y pueden llegar a ser considerables. Como órdenes de magnitud las pérdidas pueden oscilar entre un mínimo de un 10% para una red perfectamente cuidada con tuberías en galerías visitables donde se detectan las fugas fácilmente, hasta valores que pueden llegar al 50% en casos no tan raros. Pérdidas entre el 15% y el 25% son frecuentes. Es por ello que cuando hay problemas de escasez de agua, una medida nada despreciable es tratar de reducir las pérdidas aumentando la vigilancia continua de la red comprobando las anomalías ocasionales.

5. Captaciones de aguas superficiales y subterráneas: tipos

La captación es el punto de origen de las aguas para un abastecimiento, así como las obras para su recogida. Existen los siguientes tipos:

- De aguas superficiales:
 - De aguas pluviales, que consisten en una zona de recogida y un recipiente de almacenamiento, los aljibes o cisternas podrán ser del tipo cisterna veneciana, aljibe de filtro superior, aljibe americano y aljibe alemán.
 - De ríos, arroyos y canales, por medio de obras de toma en el cauce o en las márgenes de corrientes de agua, que pueden ser del tipo toma directa, toma sumergida y toma con filtro de malla.
 - En lagos y embalses, mediante torres de toma o tuberías unidas directamente a la impulsión.
- De aguas subterráneas:
 - De manantiales, las tomas o arquetas deben construirse con materiales inertes evitando las obstrucciones de las vías líquidas y la contaminación de las aguas.
 - Mediante pozos ordinarios, que son huecos cilíndricos excavados en el terreno que, al atravesar un lecho permeable, permiten la afluencia del agua hacia el mismo, diámetro entre 1 y 8 m y profundidad menor de 30 m, a partir de ésta se recurrirá a pozos entubados.
 - Pozos cajones-filtrantes, hinca en el terreno de un elemento filtro que permita el paso del agua, pero no de los materiales del terreno.
 - Pozos con drenes radiales, son pozos con diámetro >4m, revestidos de hormigón armado desde el que se introducen en el terreno tubos drenantes de acero de 2,5 m de longitud radiales y horizontales, permiten para condiciones de infiltración similares caudales muy superiores a los pozos ordinarios.
 - Galerías filtrantes, en la zona próxima a la emergencia del acuífero sirviendo como elemento de drenaje a la misma, son normalmente visitables y terminan en pozos donde se instala el sistema de bombeo.

6. Perímetros de protección de captaciones

Las administraciones competentes en abastecimiento y los organismos de cuenca, deberán determinar perímetros de protección para todas aquellas captaciones de agua destinada a consumo humano con un volumen medio $\geq 10 \text{ m}^3/\text{día}$ o que abastezcan a más de 50 personas.

Dentro de estos perímetros, queda prohibido, con carácter general, el ejercicio de actividades susceptibles de provocar la contaminación o degradación del DPH, y podrán imponerse condicionamientos a actividades o instalaciones que puedan afectar a la calidad y cantidad de las aguas, poniendo en riesgo los objetivos de calidad de las aguas de consumo humano.

Los planes hidrológicos recogerán estos perímetros de protección y podrán imponer limitaciones al otorgamiento de nuevas concesiones o autorizaciones para reforzar la protección de las aguas en estas zonas. La delimitación de estos perímetros será obligatoria en la tramitación de nuevas concesiones o en prórrogas de las existentes, pudiendo tramitarse la definición del perímetro de protección de forma paralela a la de la concesión.

En la delimitación de perímetros de protección de captaciones destinadas al consumo humano se diferenciarán, al menos:

- Zona inmediata, en la que sólo se permitirán actividades asociadas con el mantenimiento de la captación. Se define como la superficie próxima a la captación con condiciones de vulnerabilidad elevadas y cuyas dimensiones se fijarán en base a estudios específicos para la protección de las aguas subterráneas y a los criterios establecidos en cada plan hidrológico. A falta de criterios específicos será un círculo de radio $\geq 10 \text{ m}$ alrededor de la captación.
- Zona de protección general, definida como la superficie de terreno próxima a las captaciones con condiciones de vulnerabilidad elevadas y cuyas dimensiones y limitaciones asociadas se determinarán conforme a las características de la zona y a los criterios establecidos en cada plan hidrológico de cuenca.

En captaciones de aguas subterráneas de > 50.000 habitantes o de volumen medio > 10.000 $\text{m}^3/\text{día}$, así como en otros aprovechamientos que el organismo de cuenca considere necesarios tras la evaluación de riesgos, se diferenciarán:

- Zona inmediata, definida en el punto anterior.
- Zona próxima o de restricciones máximas, formada por la superficie en la que, en caso de infiltrarse cualquier contaminante persistente de origen microbiológico, químico o físico, este llegue a la captación sin haberse inactivado. A falta de criterios específicos, se podrá utilizar un tiempo de tránsito de 50 días en condiciones medias de recarga de los últimos 20 años y caudales máximos de explotación estimados.
- Zona alejada o de restricciones moderadas, formada por la superficie en la que, en caso de infiltrarse un contaminante persistente, este llegue a la captación antes de poder desarrollar medidas de protección de la captación. A falta de criterios específicos, se podrá utilizar un tiempo de tránsito de 5 años en condiciones medias de recarga de los últimos 20 años y caudales máximos de explotación estimados.
- Zona de restricciones mínimas o envolvente, con el objetivo de proteger a la captación de contaminantes de larga persistencia temporal de tipo regional o de elevada peligrosidad. Puede extenderse a toda la zona de captación.

MEA1T15. Técnicas especiales e indirectas para incrementar la eficacia de los recursos de agua

1. Técnicas especiales e indirectas para incrementar la eficacia de los recursos de agua

Los recursos naturales se transforman en disponibles mediante diversos procedimientos: captación directa de un río, lago o agua subterránea del caudal regulado de forma natural, regulación de un río por medio de un embalse o recarga artificial de un acuífero, transformación en caudal disponible de un flujo no aprovechable directamente como la reducción de la evaporación de un embalse.

El nivel de las tecnologías disponibles en cada momento también influye en la cuantía de los recursos disponibles, siendo frecuente distinguir entre recursos convencionales, obtenidos mediante técnicas clásicas y suficientemente probadas, y recursos no convencionales, obtenidos mediante nuevas técnicas, en ocasiones de carácter experimental o que se llevan a cabo de forma excepcional, donde suelen considerarse los procedentes de la desalación de aguas marinas y salobres, la reutilización de aguas residuales y la modificación de las condiciones climáticas, entre otros.

Para incrementar la eficacia de los recursos se habla de dos tipos de actuaciones: sobre la oferta de los recursos hídricos, aumentando las disponibilidades de agua; o sobre la demanda, disminuyéndola por mejoras de la eficiencia o por restricción de actividades demandantes de agua.

2. Actuaciones sobre la oferta de recursos

Podemos considerar las siguientes:

- Uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas de forma planeada y coordinada, las proporciones dependen de la época del ciclo hidrológico anual, de las reservas de cada sistema, de la calidad de cada uno y del objetivo que se haya fijado en la explotación del sistema. El uso conjunto aumenta la garantía de suministro, siendo una necesidad en zonas con problemas de suministro, donde se usan los embalses en los periodos húmedos y los acuíferos en los periodos secos, un ejemplo de esta utilización alternativa es el sistema río Mijares-Plana de Castellón.
- Trasvases entre cuencas, cualquier aprovechamiento de cierta entidad lo es en sentido geográfico, por lo que el debate sobre su conveniencia en ciertos casos surge por el alcance de la escala a la que pueden realizarse las transferencias y sus condiciones de viabilidad.
- La lluvia artificial, en fase experimental, se trata de forzar en cierto sentido el mecanismo natural del fenómeno, los 2 sistemas que hasta ahora mejores resultados han dado han sido la nieve carbónica y las sales higroscópicas como el yoduro de plata.
- La captación del agua atmosférica desde 2 puntos de vista: incrementando la formación de rocío hasta conseguir la humedad suficiente en el suelo, cubriéndolo con materiales porosos, o tratando de recoger el agua en suspensión contenida en las nieblas o nubes pegadas a las laderas de las montañas, disponiendo mallas verticales de hilos de plástico orientados de cara al viento.
- Reutilización de aguas residuales.
- Desalación de aguas salobres y marinas.
- Prevención de evaporación de embalses.
- Recarga artificial de acuíferos.

3. Desalación de agua del mar y salobre: concepto y requisitos

Consiste en quitarles a estas aguas las sales transformándolas en aguas aptas para usos como el abastecimiento a poblaciones o los riegos.

En España a mitad de los años 60 se comenzó a aplicar esta técnica en los abastecimientos urbanos de Lanzarote, y posteriormente en Gran Canaria, Fuerteventura y Ceuta.

Las primeras tecnologías consistían en la destilación, en sus variantes multietapa y compresión de vapor, tenían un alto consumo energético (15-18 kWh/m³), lo que llevaba el coste del agua desalada hasta 1,2 €/m³.

El desarrollo de tecnologías más eficientes como la ósmosis inversa ha conseguido un consumo energético de 2,7 kWh/m³, con un precio <0,6 €/m³, aunque los costes totales en alta se elevan hasta 0,9 €/m³ para llevar el agua hasta el depósito de cabecera para poblaciones a menos de 50 km de la costa y supera los 1,2 €/m³ para poblaciones a partir de 150 km, cifras que no pueden competir con los 0,06-0,24 €/m³ de costes en alta de recursos convencionales. Por ello la desalación juega un papel significativo en el suministro urbano de poblaciones costeras de forma puntual y selectiva en casos de acusada escasez de recursos hídricos. Para los regadíos la situación es aún más acusada, aunque podrían tener interés en zonas de gran escasez.

En las aguas salobres los costes de producción y transporte son apreciablemente inferiores, pero presentan problemas de agotamiento (cantidad) y cambio de características (calidad) y de evacuación de las salmueras generadas en el proceso, por ello el estudio de viabilidad y costes requiere análisis pormenorizado en cada caso. Se emplean tecnologías de membranas, tanto de ósmosis inversa como de electrodialisis, siendo la primera más generalizada.

Las aguas desaladas suponen un pequeño % respecto al global, pero en Lanzarote y Fuerteventura superan el 90% de sus consumos urbanos totales. La capacidad anual de las 900 desaladoras instaladas en España es del orden de 1.600 hm³/año, más de 3 veces el volumen que realmente se desala que es del orden de 500 hm³/año, que es ligeramente superior al 1% de los recursos disponibles.

En el TRLA se especifica que la actividad de desalación de agua de mar queda sometida al régimen general establecido para el uso privativo del DPH, prescribiendo que el agua de mar desalada forma parte del DPH.

4. Reutilización de aguas residuales. Real Decreto 1085/2024 por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua

Se puede distinguir en primer lugar entre reutilización indirecta y reutilización directa. La primera es la que se produce por tomas aguas abajo del punto de vertido de efluentes a los cursos de agua y su dilución con el caudal circulante (depuración natural), siendo una componente intrínseca del ciclo del agua. La reutilización directa es aquella en que el segundo uso se produce a continuación del primero, sin que entre ambos el agua se incorpore a ningún cauce, siendo transportada hasta el punto del segundo aprovechamiento a través de una conducción específica.

En los últimos años ha habido un incremento muy importante de las aguas depuradas, actualmente se depuran unos 5.000 hm³, y de las actuaciones de reutilización directa (400 hm³ en 2007, que representan aproximadamente el 1% de recursos disponibles) que son más abundantes en las islas y en las cuencas del Júcar y el Segura (superior al 25% en 2008).

El Real Decreto 1085/2024 establece el régimen jurídico de la reutilización del agua. Sus fines son: garantizar que las aguas regeneradas sean seguras para los usos establecidos garantizando un alto nivel de protección del medio ambiente, de la salud humana y de la sanidad animal; promover la economía circular; apoyar la adaptación al cambio climático; y contribuir a la satisfacción sostenible de las demandas de agua, a la consecución de los objetivos medioambientales y de protección del dominio público hidráulico al hacer frente a la escasez de agua y a las presiones de los recursos hídricos.

Este Reglamento define las aguas regeneradas como aguas residuales depuradas sometidas a un tratamiento que permite adecuar su calidad según su uso o destino. Y se aplica a la producción, suministro y uso de las aguas regeneradas, conforme a los requisitos especificados para los diferentes usos o destinos contemplados: uso urbano (riego de jardines privados, descarga de aparatos sanitarios, estanques y caudales circulantes ornamentales, baldeo de calles, riego de zonas verdes, sistemas contra incendios, lavado industrial de vehículos); uso agrícola (riego); uso industrial (refrigeración, aguas de proceso, aguas de limpieza); otros usos (refrigeración y limpieza en granjas, acuicultura, riego de campos deportivos, silvicultura); destino ambiental (recarga de acuíferos, aporte a ecosistemas acuáticos que requiere estudio específico). Se distinguen cinco grandes grupos de clases de calidad de agua regenerada en función de la concentración de *Escherichia coli*: A+, A, B, C y D que deberán respetarse atendiendo a su uso o destino. Los tratamientos indicativos asociados a estas clases de calidad son tratamiento secundario, filtración, ultrafiltración y desinfección.

5. Prevención de evaporación de embalses

En la lucha contra la evaporación hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- Localización, en la medida de lo posible a la vista de los mapas de isopletas (líneas de equieaporación) en los lugares donde la evaporación sea menor, lo que en general coincide con las cotas más altas.
- Topografía, la evaporación se reduce con la superficie del embalse, son convenientes los embalses profundos situados en gargantas, si los rodean tierras altas se reduce la radiación solar.
- Estructura del embalse, se reduce la evaporación si extraemos la lámina de agua más caliente en lugar de la fría.
- Regulación de embalses, en época de mayores pérdidas tengan la menor cantidad de agua posible los que tengan mayor superficie expuesta.
- Barreras de protección, los obstáculos reducen la velocidad del aire que circula sobre el agua disminuyendo la evaporación por lo que conviene repoblar las riberas del embalse, aunque aumentemos la evapotranspiración.
- Destrucción de la estratificación térmica, en un embalse profundo se acumula el agua fría en el fondo, si se consigue homogeneizar la mezcla disminuirá la evaporación.

6. Actuaciones sobre la demanda: soluciones legales, técnicas y de gestión

La necesidad de una gestión eficiente de los recursos desde el lado de la demanda tiene su origen en la gravedad de los problemas de escasez de agua en países desarrollados, donde no es admisible el despilfarro en el consumo de agua, el deterioro en la calidad o el impacto en los ecosistemas. El concepto de ahorro de agua se engloba en uno más amplio de conservación del agua que incorpora técnicas en los diferentes tipos de demanda: urbana, agraria, industrial y energética, y dentro de 5 programas sectoriales: infraestructuras, ahorro, eficiencia, sustitución y gestión.

Algunas técnicas concretas para disminuir la demanda de agua son: modernización y rehabilitación de redes, tarificación volumétrica, equipamientos sanitarios de bajo consumo, desarrollo educativo y políticas de concienciación ciudadana, reutilización de aguas residuales, reciclado de aguas, cultivos y jardinería con mejor exigencia de agua, nuevas técnicas de riego, formación de los regantes, medidas de gestión con recargos o descuentos en el precio del agua, o mejora de la eficiencia del equipamiento hidráulico.

MEA1T16. Condiciones de potabilidad del agua

1. Condiciones de potabilidad del agua

Las aguas destinadas al abastecimiento deberán cumplir las exigencias del RD 3/2023 por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro, que deben cumplir las aguas de consumo humano y las instalaciones que permiten su suministro desde la captación hasta el grifo del consumidor y el control de éstas, garantizando su salubridad, calidad y limpieza, con el fin de proteger la salud de las personas de los efectos adversos derivados de cualquier tipo de contaminación de las aguas.

En el RD 3/2023 se definen las aguas de consumo como todas aquellas aguas de uso humano, ya sea en su estado original, ya sea después del tratamiento, que sean:

- 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.
- Utilizadas en la industria alimentaria para fines de fabricación, tratamiento, conservación o comercialización de productos o sustancias destinadas al consumo humano, así como a las utilizadas en la limpieza de las superficies, objetos y materiales que puedan estar en contacto con los alimentos.
- Aguas de la zona de captación en las masas de agua, que vayan a ser utilizadas para la producción de agua de consumo, independientemente de su origen y del tratamiento requerido, en su caso.

El agua de consumo humano deberá ser salubre y limpia, sin contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en una cantidad o concentración que pueda suponer un riesgo para la salud humana, cumpliendo con parámetros microbiológicos (*Escherichia coli*, *Enterococo* y *Clostridium perfringens*), parámetros químicos (antimonio, arsénico, benceno, cianuro, cobre, cromo, mercurio, plomo, etc.), y parámetros de radiactividad.

2. Técnicas de potabilización, desalación y técnicas de tratamiento de aguas industriales

Potabilización. Proceso para darle al agua las características adecuadas para que sea potable con las siguientes fases:

- Clarificación o eliminación de impurezas contenidas en el agua, para partículas mayores de 3 mm se emplean rejillas y tamices, para las de tamaño inferior se emplean técnicas de:
 - Floculación, mediante un coagulante (sulfato de aluminio o sal de hierro) se pueden absorber las partículas en suspensión para formar flóculos o copos fácilmente separables por decantación y filtración.
 - Decantación, dejar que los flóculos se depositen en el fondo de los decantadores, puede ser estática o acelerada para tratar grandes caudales.
 - Filtración, retener partículas sólidas al hacer pasar el agua por un material poroso que sirve de soporte a una membrana que ejerce una acción coagulante, fija por absorción las partículas pequeñas y retiene mecánicamente las partículas mayores, hay dos tipos: lenta y rápida, los filtros se limpian haciendo circular agua y aire en sentido contrario.
 - Cámaras de grasas, que eliminan grasas y aceites.
- Esterilización, se emplea fundamentalmente el cloro y sus compuestos aplicándose con dosificaciones determinadas mediante ensayos, también se utiliza el ozono, pero a menor escala, y ya muy raros los procedimientos por rayos ultravioleta, eléctricos, etc.
- Tratamientos complementarios, eliminación de sabores y olores, ablandamiento o descalcificación, desferrización, desmanganesificación, eliminación del flúor, etc.

Desalación. Proceso al que someten las aguas salinas para separar las sales que llevan en disolución. Los principales métodos de desalación industrial son:

- Destilación multietapa, conjunto de evaporadores que funcionan con presiones cada vez más débiles.
- Evaporación relámpago (flash), evaporación de agua salada a baja presión y menor temperatura que si fuera a la presión atmosférica.
- Evaporación por termocompresión, el vapor obtenido en primer lugar es condensado utilizando el agua salada que se irá destilando a continuación, este sistema exige un gran consumo de energía y la utilización de grandes compresores de difícil construcción.
- Cristalización, se pulveriza agua de mar en una cámara refrigerada donde se forman cristales de hielo que se separan para obtener agua dulce al fundirlos. Este proceso está en fase experimental.
- Ósmosis inversa, es el más usado, más del 90%, aplica presión superior a la osmótica que provoca el movimiento de las moléculas de agua en sentido contrario a la difusión natural, hay que disponer membranas adecuadas para bloquear el paso de iones, el principal inconveniente de este sistema es la corta duración de las membranas.
- Electrodialisis de membranas selectivas, consiste en la separación de iones de cloro y sodio y su paso por membranas catiónicas y aniónicas, adecuado para salinidad <10 g/l, se utiliza para ciertas aguas salobres, ya que en los océanos la salinidad media es de 35 g/l.

Técnicas de tratamiento de aguas industriales. Se refiere a las aguas efluentes de las industrias que presentan una gran variedad de características dependiendo del tipo de industria, requieren tratamientos previos antes de ir a las depuradoras urbanas o a veces incluso depuración independiente. Entre los procesos para tratar los efluentes de plantas depuradoras de aguas industriales para su reutilización están los siguientes: filtración directa y de contacto, sistemas de tratamiento físico-químico, microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis inversa, o electrodiálisis.

3. Pretratamientos y postratamientos necesarios

Para el sistema de ósmosis inversa las etapas de un pretratamiento son: adición de cloro (para controlar la actividad biológica), floculación, filtración, adición de ácido (para controlar el pH) y de antiincrustante (como inhibidor de la incrustación de sales poco solubles), y decoloración (que consiste en dosificar el agua con bisulfito de sodio). Todas estas actuaciones buscan proteger la instalación y en especial las membranas de ósmosis inversa.

El agua procedente del sistema de desalación, antes de descargarse al depósito de agua para el abastecimiento, debe ser postratada para satisfacer las condiciones de calidad del agua potable, de acuerdo con las dos etapas siguientes:

- Remineralización, que corrige el pH hasta 7-8, aumenta la dureza y corrige la alcalinidad.
- Esterilización.

4. Obras de abastecimiento y saneamiento en general

Obras de abastecimiento. La **captación** es el punto de origen de las aguas para un abastecimiento, así como las obras para su recogida. Existen los siguientes tipos:

- De aguas superficiales:
 - De aguas pluviales, que consisten en una zona de recogida y un recipiente de almacenamiento, los aljibes o cisternas podrán ser del tipo cisterna veneciana, aljibe de filtro superior, aljibe americano y aljibe alemán.
 - De ríos, arroyos y canales, por medio de obras de toma en el cauce o en las márgenes de corrientes de agua con tomas que pueden ser del tipo toma directa, toma sumergida y toma con filtro de malla.
 - En lagos y embalses, mediante torres de toma o tuberías unidas directamente a la impulsión.
- De aguas subterráneas:
 - De manantiales, las tomas o arquetas deben construirse con materiales inertes evitando las obstrucciones de las vías líquidas y la contaminación de las aguas.
 - Mediante pozos ordinarios, que son huecos cilíndricos excavados en el terreno que, al atravesar un lecho permeable, permiten la afluencia del agua hacia el mismo, diámetro entre 1 y 8 m y profundidad menor de 30 m, a partir de ésta se recurrirá a pozos entubados.
 - Pozos cajones-filtrantes, hinca en el terreno de un elemento filtro que permita el paso del agua, pero no de los materiales del terreno.
 - Pozos con drenes radiales, son pozos con diámetro >4m, revestidos de hormigón armado desde el que se introducen en el terreno tubos drenantes de acero de 2,5 m radiales y horizontales, permiten para condiciones de infiltración similares caudales muy superiores a los pozos ordinarios.
 - Galerías filtrantes, en la zona próxima a la emergencia del acuífero sirviendo como elemento de drenaje a la misma, son normalmente visitables y terminan en pozos donde se instala el sistema de bombeo.

Las **conducciones** son los elementos que permiten el transporte de agua desde la captación hasta los depósitos de almacenamiento y regulación, pueden ser forzadas (tuberías) o en lámina libre (canales) y requieren de obras complementarias por la topografía como puentes, acueductos, sifones o túneles.

Los **depósitos de regulación y distribución** tienen como función almacenar el agua con funciones de regulación de caudales, para compensar las diferencias en el tiempo entre aportaciones y consumos, y de carga, para garantizar la presión mínima en cada punto de la red de distribución, además de prever una reserva para emergencias como averías o incendios, deben garantizar también la inalterabilidad de la calidad de las aguas, se pueden clasificar por su función: regulación y carga, emplazamiento en relación con el terreno: enterrados, semienterrados, superficiales y elevados, por su relación con la red: depósito principal de cabecera y depósito de cola o de equilibrio, por el material: fábrica de ladrillo, hormigón en masa, armado, pretensado, postesado, acero o plástico.

Las **redes de distribución** que van desde los depósitos a los puntos de consumo, proporcionando el caudal preciso, la presión conveniente y la calidad requerida, hay 3 tipos: ramificada, reticular o circular.

Obras de saneamiento. Conjunto de dispositivos y conductos para evacuar las aguas negras, industriales y pluviales (en el ámbito urbano) y que se componen fundamentalmente de las redes de alcantarillado, las acometidas domiciliarias (con bajantes, sifones, sistemas de ventilación y arqueta de conexión a la red) y los sumideros para la escorrentía. La red de alcantarillado puede ser única o doble, y está formada por registros, cámaras de limpieza, sumideros, aliviaderos, sifones, cámaras de elevación, etc. La red confluye en los colectores generales que llegan a la depuradora y de ahí por los emisarios al punto de vertido (submarino o cauce natural).

MEA1T17. Depuración de aguas residuales

1. Depuración de aguas residuales

Los procesos habituales de los que consta la depuración de aguas residuales son:

Tratamiento primario, es un tratamiento físico de separación de los sólidos que contiene el agua, las condiciones de funcionamiento son hidráulicas con el tiempo de retención, la velocidad de paso y el caudal circulante constantes, puede tener dos objetivos: máximo rendimiento o rendimiento suficiente para la segunda etapa.

Tratamiento secundario, 2 opciones: tratamiento químico que introduce reactivos con dosificaciones precisas y cambiantes, o proceso biológico con floculación gracias a la acción enzimática y metabólica de los microorganismos que están en el agua residual, para que funcione hay que mantener las condiciones vitales de los microorganismos e introducir un caudal y una carga biológica constante.

El tratamiento químico es más caro por el consumo de reactivos (90-250 mg/l) y el personal especializado para el control permanente de su dosificación, por lo que se descarta en la mayoría de los casos, salvo excepciones como depuradoras de zonas turísticas con vertidos limitados a ciertas épocas del año, depuradoras de efluentes industriales con $DBO_5/DQO \leq 0,25$, o tratamientos terciarios para eliminación completa de contaminantes o de compuestos orgánicos y nutrientes como el N y el P, en este caso consumo de reactivos entre 40-150 mg/l.

El tratamiento biológico es pues la base fundamental del tratamiento de aguas residuales, es muy importante controlar la relación de nutrientes $DBO_5/N=20$ y $DBO_5/P=100$ para un desarrollo favorable de la actividad de los microorganismos.

2. Control e índices de contaminación

Oxígeno disuelto (OD), es un índice fundamental para la definición y control de las aguas residuales, puede aumentar por la captación a través de la interfase agua-aire y por la acción fotosintética de las algas verdes, y disminuir por la respiración y acción metabólica de los microorganismos, elevación de temperatura y reacciones químicas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), es la cantidad de oxígeno en mg/l consumida a 20°C, presión atmosférica y oscuridad en un tiempo dado, indica el oxígeno necesario para los microorganismos reflejando la materia orgánica que existe en el agua, se suele utilizar la DBO_5 (a los 5 días) para controlar los procesos de depuración.

Demanda Química de Oxígeno (DQO), mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas, su ensayo es muy rápido 1 o 2 h en frío y 20 o 30 min si se realiza en caliente.

Sólidos en suspensión y contenido de materia orgánica, se distinguen Sólidos Totales (ST) que se dividen en Sólidos en suspensión (SS) (y éstos a su vez en sólidos sedimentables o no sedimentables) y Sólidos disueltos (SD), por otro lado, se dividen también en sólidos fijos o inorgánicos (SF) y sólidos volátiles u orgánicos (SV). Para determinar la cantidad de sólidos se deseca la muestra a 103°C (ST) y a 550°C (SF) porque a esa temperatura la materia orgánica se volatiliza. Para determinar los sólidos sedimentables se realiza un ensayo introduciendo un litro de muestra en un cono Imhoff, los sólidos separados al cabo de 2 horas son los sólidos sedimentables.

Índices de contaminación bacteriana, es habitual realizar colimetría y estreptometría.

Índices de vertidos industriales, existen gran variedad, pero se podrían resumir en índices que definan el contenido en ácidos, bases, productos petrolíferos, grasas poco degradables, detergentes, metales pesados, productos radiactivos, etc.

3. Autodepuración en cursos naturales

Son procesos que devuelven una masa de agua contaminada a su estado normal original sin la intervención humana.

Se producen fenómenos similares a los de una estación depuradora con 4 zonas diferencias a lo largo del río:

- Zona de degradación, al incorporarse las aguas contaminadas al río, apareciendo sólidos flotantes, turbidez, reducción de oxígeno.
- Zona de descomposición activa, agua grisácea oscura, baja el oxígeno a 0 para luego subir lentamente, no viven peces, los organismos de descomposición orgánica trabajan activamente, pueden desprenderse gases como el metano y otros de mal olor, puede formarse espuma en la superficie, cuando va disminuyendo la descomposición activa es cuando aumenta el oxígeno.
- Zona de recuperación, aumento del oxígeno, agua más clara, vida acuática macroscópica y algas, puede tener nitratos, fosfatos, sulfatos y carbonatos.
- Zona de agua limpia, oxígeno disuelto cerca de la saturación, se restauran condiciones de la corriente natural, peces útiles para la pesca, quedan organismos patógenos y parte de compuestos metálicos pues no se ven alterados por los procesos bioquímicos existentes.

4. Tecnología de la depuración físico-química: pretratamiento y tratamientos primarios

Pretratamiento. Elimina la contaminación más visible y consta de:

- **Desbaste**, retiene y separa los sólidos más voluminosos mediante rejillas verticales o inclinadas situadas a la entrada de la depuradora, desbaste grueso (50-150 mm entre barrotes) y desbaste fino (10-20 mm).
- **Desarenado**, extraer del agua partículas >200 micras (0,2 mm) mediante depósito en el fondo por circulación del agua a velocidad controlada, la arena sedimentada no tiene casi materia orgánica y es evacuada a un clasificador de arenas mediante bombas y luego a un contenedor.
- **Desengrasado**, elimina grasas, aceites, y en general flotantes, se inyecta aire para provocar la desmenución de las grasas y su ascenso a la superficie de donde se extraen con algún dispositivo de recogida superficial como rasquetas.
- **Aliviadero y medidor de caudal**, permiten que la EDAR funcione con el caudal de proyecto.

Tratamiento primario. Tiene como misión separar por decantación las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento, con el tratamiento primario se eliminan aproximadamente el 90% de las materias decantables, 65% de las materias en suspensión y 35% de la DBO.

5. Tecnología de eliminación biológica de nutrientes: tratamientos secundarios

Existen dos tipos: los lechos bacterianos y los fangos activos. En estos tipos de tratamiento se emplean cultivos biológicos para conseguir una descomposición aeróbica y oxidación de la materia orgánica, pasando a compuestos más estables. Se obtiene así un rendimiento mayor que el alcanzado por una sedimentación primaria, y por una depuración de tipo químico. El éxito de la operación estriba en mantener las condiciones aerobias, que son necesarias para el ciclo vital de los organismos y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan. La materia orgánica es el alimento que sustenta a estos organismos, y su eficiencia disminuye tanto por una sobrealimentación, como por una alimentación deficiente o no equilibrada.

Lechos bacterianos, se hace circular a través de un medio poroso agua residual y aire, donde se va formando una película biológica compuesta por microorganismos que se desprende al aumentar de espesor y es arrastrada por el agua residual hacia la decantación secundaria.

Fangos activos, este método es más usual en España a pesar de tener costes de instalación y explotación más elevados. En el reactor biológico o cuba de aireación se provoca el desarrollo de un cultivo biológico formado por gran número de microorganismos agrupados en flocos (fangos activos) que se debe mantener en un determinado nivel de equilibrio con la carga orgánica a eliminar. El proceso necesita un sistema de aireación y agitación para que haya oxígeno suficiente, se distribuyan los fangos activos de forma homogénea y no se produzca la sedimentación de los flocos en el reactor. Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente oxidada el licor mezcla pasa al decantador secundario donde se separan los fangos floculados, una parte se recircula al reactor biológico para mantener la concentración suficiente de bacterias y la otra va al tratamiento de fangos.

6. Tecnología del tratamiento terciario: filtración y esterilización

Es el tratamiento más completo para las aguas residuales, pero no es comúnmente utilizado por su elevado coste. La filtración tiene por objeto retener las partículas sólidas al hacer pasar el agua por un material poroso que sirve de soporte a una membrana que ejerce una acción coagulante, fija por absorción las partículas pequeñas y retiene mecánicamente las partículas mayores.

La esterilización busca la eliminación de los patógenos, se emplea fundamentalmente el cloro y sus compuestos aplicándose con dosificaciones determinadas mediante ensayos, también se utiliza el ozono, pero a menor escala. Los factores que influyen en la esterilización son: la naturaleza y el número de microorganismos a ser destruidos; el tipo y concentración del desinfectante usado; la temperatura del agua a ser desinfectada, cuanto más alta la temperatura, más rápida es la desinfección; el tiempo de contacto, mejor desinfección cuando los desinfectantes permanecen más tiempo en contacto con el agua; la naturaleza del agua a ser desinfectada, si el agua contiene materia de naturaleza coloidal y orgánica, el proceso de desinfección es obstaculizado; el pH del agua; y la mezcla, ya que una buena mezcla asegura la adecuada dispersión del desinfectante a través de toda el agua y mejora el proceso de desinfección.

7. Tratamientos avanzados de eliminación de nutrientes: fósforo y nitrógeno

El fósforo se elimina en un 25-30% en los procesos de decantación primaria y secundaria, para eliminar el resto se recurre a procesos químicos mediante la adición de sales de hierro, aluminio o calcio que producen fosfatos que decantan rápidamente, o a procesos biológicos que se basan en la exposición alternativa de los microorganismos a condiciones aerobias y anaerobias que permitan el desarrollo de bacterias desfosfatantes. Se debe cumplir que $DBO_5/P > 15$, siendo mayor la reducción del fósforo cuanto más alta sea esta relación.

Para eliminar el nitrógeno lo más usual es diseñar una nitrificación (obtención de nitratos por oxidación de nitritos)-desnitrificación (los nitratos se convierten en nitrógeno molecular, gas, en ausencia de oxígeno) simultánea en el mismo reactor biológico, en él se mantiene una zona de anoxia en cabeza a la que se recirculan los nitratos producidos en la fase de aireación posterior.

MEA1T18. Problemas de contaminación de efluentes industriales

1. Problemas de contaminación en relación con los efluentes industriales

En términos generales, se pueden distinguir 3 tipos de contaminación producida por efluentes industriales:

- Contaminación orgánica, asimilable a la urbana y tratable en depuradoras urbanas salvo por carga orgánica excesiva en algunos casos como en el vertido de sangre de los mataderos.
- Contaminación inorgánica, se caracteriza por la presencia de metales pesados, fenoles, cianuros, sulfuros, etc. y en general sustancias tóxicas que inhiben la degradación natural y son altamente nocivas para cauces o depuradoras receptoras, la DQO es muy superior a la DBO. Se puede reducir con instalaciones de recuperación instaladas en la propia industria para reducir sus contaminantes típicos, que se pueden clasificar en elementos:
 - Insolubles separables físicamente, como sólidos en suspensión y materias flotantes.
 - Solubles separables físicamente, como materias absorbibles o sales separables por ósmosis.
 - Que solo requieren una neutralización, como ácidos y bases solubles.
 - Que requieren una oxidación-reducción, como sulfuros y cianuros.
 - Separables por desgasificación, como gases ocluidos o disueltos, o productos sulfurosos concentrados.
- Contaminación biológica, causada por bacterias, virus y otros organismos patógenos.

La incorporación de efluentes industriales a cursos naturales o al alcantarillado público no debe realizarse en la mayoría de los casos sin un tratamiento previo que permita la depuración posterior.

2. Reutilización de efluentes industriales

Conviene distinguir en primer lugar entre la reutilización, que es el empleo de las aguas residuales depuradas, y el reciclaje, que es el empleo del mismo agua varias veces dentro de la industria.

Además del destino con fines industriales también cabría el empleo de dichos efluentes con fines agrícolas.

Resulta más factible exigir ciertas condiciones a las nuevas industrias que modificar industrias existentes. El aumento del precio del agua ha sido el causante, entre otros, de la revisión y optimización del proceso productivo de los grandes consumidores de agua en la industria, en operaciones como la refrigeración o el lavado de materiales.

3. Evaluación de la carga contaminante por sector industrial. Categorización del sector industrial

La contaminación de los efluentes dependerá del tipo de industria y del proceso de fabricación, ya que el contacto con el agua de una materia prima la hace susceptible de aparecer en el efluente. En las legislaciones autonómicas o normas municipales o en los planes hidrológicos de cuenca se establecen requisitos de depuración para determinadas actividades industriales que suelen estar recogidas en una lista según su clasificación nacional de actividades económicas.

Industria agroalimentaria: productos de alimentación, mataderos, salas de despiece, granjas, industria láctea. Efluentes orgánicos y biodegradables con rápida tendencia a la acidificación y fermentación, pueden tratarse con métodos biológicos, pueden presentar materiales groseros como restos de carne, tripas, residuos de estabulación que pueden disminuir la sección de colectores e, incluso, llegar a romperlos, alta carga en grasas, en mataderos sangre con una carga orgánica enorme que puede saturar la depuradora municipal. Parámetros: DQO, DBO, sólidos en suspensión (SS), aceites y grasas.

Industria del curtido: emplea taninos y sales de cromo en el proceso de curtido, pueden tratarse con métodos biológicos, pero además necesitarán una precipitación del cromo para eliminarlo. Parámetros: DQO, DBO, SS, aceites, grasas y cromo trivalente.

Industria textil: es muy diversa, sus efluentes en general contienen SS, grasas, sales orgánicas, tintes y colorantes, y en lavanderías detergentes. Parámetros a controlar: DQO, DBO, y la concentración del resto de sustancias indicadas.

Industria papelera: hay que distinguir entre la industria de la pulpa del papel y la del papel propiamente dicha, existen efluentes procedentes del blanqueo, del lavado y del condensado de los procesos de evaporación. Parámetros: alta cantidad de sólidos insolubles de los cuales un 10-30% no son sedimentables, alta DBO y DQO, y ser resistente a procesos biológicos.

Industria del petróleo: 4 tipos de actividades, producción de petróleo, transporte de crudo y productos refinados, refinerías e industria petroquímica, que generan efluentes muy diversos con presencia de sosa, sulfuros, fenoles, parafinas, alcoholes pesados, benceno, cianuros, ácidos orgánicos, etc.

Industria del acero: efluentes con amoníaco, hierro, cinc, plomo, ácido sulfúrico, aceites, SS, etc.

Industria de la automoción: fabricación, talleres de mecánica, chapa y pintura, limpieza, pueden aparecer metales pesados como el plomo o el cromo, detergentes, grasas, SS, hidrocarburos.

Industria del tratamiento de superficies: de un metal con otros metales para hacerlo más resistente a la corrosión, más estético, etc. Elevada carga en metales pesados como el zinc, níquel, cromo hexavalente, etc. así como cianuros y fluoruros.

Existen muchas otras industrias con múltiples variantes: industria energética, química, vidrio, cosméticos, abrasivos, cerámica, adhesivos, explosivos, etc.

4. Características de los efluentes

Se pueden clasificar en función de los contaminantes que contienen:

- Químicos, tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos, los primeros disminuyen el oxígeno por la degradación biológica de esos compuestos, y los segundos, aunque también pueden disminuir el oxígeno por oxidación, el resultado más importante es su posible efecto tóxico. Los iones de metales pesados es otra importante parte de este grupo, son tóxicos para los seres humanos, mercurio, arsénico, cobre, níquel, cromo, plomo, cadmio, hierro, aluminio, etc.
- Físicos, cambios térmicos, color, turbidez, espumas, radioactividad y sólidos gruesos.
- Biológicos, son los responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de abastecimiento como el cólera o las fiebres tifoideas, inusual en países desarrollados.

Otra forma de clasificarlos es en función de los tratamientos que pueden eliminarlos:

- Sustancias insolubles que pueden separarse físicamente con o sin floculación (grasas flotantes y SS).
- Sustancias orgánicas separables por adsorción (tintes, detergentes, derivados clorados, etc.).
- Sustancias separables por precipitación (metales, fosfatos, sulfatos, fluoruros).
- Sustancias separables por aireación (sustancias volátiles, amoníaco, fenoles, hidrocarburos aromáticos, etc.).
- Ácidos y bases minerales (ácido clorhídrico, ácido sulfhídrico).
- Sustancias que se pueden concentrar por ósmosis inversa o intercambio iónico (sales de ácidos y bases fuertes y compuestos ionizados).
- Sustancias biodegradables (azúcares, proteínas).

5. Selección de parámetros contaminantes a efectos de establecimiento de niveles de emisión

El tipo de actividad industrial y los procesos productivos son fundamentales para establecer los parámetros característicos de los efluentes y comprobar si cumplen con los límites establecidos por la legislación para los contaminantes.

Las muestras que se tomen para determinar los contaminantes deberán ser características de la actividad industrial, tomándolas cuando todos los procesos productivos de la fábrica están en funcionamiento.

Como norma general, se intentará conocer el proceso de fabricación y las materias primas que se utilizan. Para ello, en múltiples normativas de vertido, junto con la solicitud de autorización de vertido se debe adjuntar una relación de las materias primas y finales de la industria, así como las cantidades de las mismas. Se deben determinar cuáles son los contaminantes que aparecerán en el vertido.

Hay que tener en cuenta que en los procesos de limpieza se produce una gran parte de la contaminación de una industria, utilizando en muchas ocasiones productos especialmente agresivos, por ejemplo, para eliminar la grasa se recurre mucho a la sosa que produce un elevado pH en los efluentes.

6. Tecnologías disponibles para reducir la contaminación de efluentes: medidas internas y tratamiento de efluentes

La reducción de la contaminación de efluentes lleva 3 fases:

- Fase 1, revisión e inventario de todos los efluentes de la planta con determinación de caudales y cargas contaminantes.
- Fase 2, revisión de los datos obtenidos en la fase 1 para establecer objetivos de reducción de la contaminación posible, como son: incrementar reciclaje en los sistemas de aguas de refrigeración, recuperación de productos químicos, sustitución de productos por otros menos contaminantes, reutilización de aguas, eliminación de escapes y mejora del mantenimiento.
- Fase 3, evaluación de los ahorros potenciales considerando la inversión y los costes de explotación de una posible planta de tratamiento separada, comparando situación actual con situación nueva con efluente con menos caudal y menos carga contaminante y planta de tratamiento.

Para poder llevar a cabo una reducción de la contaminación en origen, se requiere un gran conocimiento de los procesos y de las posibilidades de modificación, en este sentido las directrices de la UE obligan al empleo de las mejores técnicas limpias disponibles y al objetivo de tender a “descarga cero”.

MEA1T19. Uso del agua para regadío

1. Uso del agua para regadío

Este uso incluye el agua para la evapotranspiración de los cultivos y otros volúmenes de menor entidad como los destinados al lavado de suelos o al riego antihelada.

La demanda de agua para riego se caracteriza por su gran volumen y concentración en los meses más secos del año lo que obliga a regular y movilizar grandes cantidades de agua anualmente.

Los regadíos en España ocupan aproximadamente 3,6 Mha, el 20% de la superficie agrícola útil y el 7% de la superficie total, generan casi un 60% de la producción agrícola, además generan un 30% de los jornales del sector agrario, lo que representa unos 600.000 empleos en regadíos.

La superficie en regadío se distribuye de la siguiente manera: riego localizado ~50%, riego por gravedad ~25%, riego por aspersión ~25% (dentro del cual riego automotriz ~10%). En los últimos años ha habido un aumento de los sistemas más tecnificados en detrimento del riego por gravedad fundamentalmente.

La asignación de los riegos se hace con el siguiente orden de prioridad: los inscritos en el Registro de Aguas, los que se encuentran en trámite de inscripción, complementarios para aprovechamientos inscritos, existentes y no inscritos que estén declarados de interés general, en planes del Estado no objeto de aprovechamientos inmediatos, nuevas transformaciones en regadíos y ampliación de aprovechamientos existentes.

2. El agua en la fisiología vegetal

Se distingue el agua de constitución que forma parte de los tejidos vegetales en un 60-95% del peso de la planta y el agua vegetativa que interviene como vehículo de las sustancias nutritivas del suelo, se toma por las raíces del suelo y se devuelve a la atmósfera por transpiración.

Las posiciones del agua en el suelo son: zona no saturada (humedad, $p < p_{atm}$, requiere succión), franja capilar (agua capilar, franja casi saturada, agua en contacto con nivel freático, $p < p_{atm}$), nivel freático ($p = p_{atm}$), zona saturada (agua freática, $p > p_{atm}$). La succión varía desde 0 para un suelo saturado a 10^7 cm para un suelo completamente seco, pF es el \log_{10} de la presión en cm y varía entre $-\infty$ y 7, a la humedad a 100 cm sobre el nivel freático después de lluvia o riego y una vez que el exceso de agua ha percolado hacia el subsuelo se le denomina capacidad de campo y corresponde a un $pF=2$, a partir de ese punto y una vez que las plantas van retirando humedad del suelo pF asciende lentamente hasta el punto de marchitez permanente $pF=4,2$ situación en la que las plantas ya no pueden succionar agua.

3. Técnicas de aplicación del agua al terreno y obras de riego en general

Toda transformación en regadío debe tener en cuenta el suelo, el agua, el clima, los cultivos, los regantes y la estructura de la propiedad.

Clasificación de los sistemas de riego:

- Riegos por gravedad, agua a presión atmosférica en el punto más alto de la parcela, puede generar excesiva percolación, facilitando el lixiviado de contaminantes y el lavado de sales y nutrientes, en general produce exceso de consumo, se dividen en:
 - Riegos por escurrimiento, desde los puntos altos a los puntos bajos, riego de praderas, pérdidas por escorrentía superficial, se adaptan bien a terrenos permeables.
 - Riegos por inundación, se mantiene el suelo inundado para que el agua penetre por infiltración, se pueden producir pérdidas por percolación, se adaptan bien a terrenos relativamente impermeables, necesitan terrenos casi horizontales, inundación permanente en cultivos de arroz con terreno nivelado donde solo varía altura de agua según la edad de la planta, inundación temporal (riego a manta) durante el tiempo necesario para que se alcance la capacidad de campo en toda la profundidad de las raíces.
 - Riegos por infiltración o por surcos, las plantas sobre caballones elevados junto a los surcos, se aplica a terrenos con permeabilidad media.
- Riegos a presión, se dispone el agua a una determinada presión, se dividen en:
 - Riego localizado, aplicación del agua al suelo restringida a la zona de aprovechamiento de las plantas, se riega con la frecuencia necesaria para mantener una humedad normalmente por encima de la capacidad de campo en el entorno reducido de la raíz de la planta, se dividen en riegos por goteo (<12 l/h) y riegos por difusores o miniaspersores (12-120 l/h), requieren una estación de control para medir el agua, incorporar fertilizantes, medir tiempo de riego, etc. Ventajas: ahorro de agua, mano de obra, abonos y productos fitosanitarios, permite regar cualquier clase de terreno, aumento de la producción y su calidad, disminución de malas hierbas, posibilidad de empleo de aguas salinas. Inconvenientes: elevado coste, poca flexibilidad para cambiar de cultivo, necesidad de lavar cada 4 o 5 años el terreno para eliminar las sales que se acumulan en los bulbos, obstrucción de emisores, especialización de los regantes y enfermedades en las plantas por humedad constante.

- Riego por aspersión, el agua se aplica en forma de lluvia a través de los aspersores en una superficie circular, según el diámetro de la tobera y la presión en la misma los aspersores tienen un caudal, alcance y tamaño de gota distintos. Ventajas respecto riegos por gravedad: no es necesario movimiento de tierras, menor consumo de agua y menos mano de obra y menos especializada. Inconvenientes: costes de instalación altos, consumo de energía suplementario, apelmazamientos por tamaño de gota o daños a plantas, pierde uniformidad con vientos intensos, cambios de posición de equipos dificultosos con terreno regado.

4. Dotaciones, garantía y calidad del agua

Dotaciones, se establecen aquellas que den los rendimientos máximos de los cultivos, están establecidas en los planes hidrológicos de cuenca para los cultivos más representativos de cada cuenca (m³/ha y año).

Garantía, se considera satisfecha cuando, conforme a la instrucción de planificación hidrológica 2008 el déficit en 1 año <50% de la demanda, en 2 años consecutivos la suma de déficit <75% de la demanda anual, y en 10 años consecutivos Σ déficit < 100% de la demanda anual.

Calidad del agua para riego, los criterios más comúnmente utilizados los recoge la FAO (organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), en general las aguas fluviales naturales son adecuadas para el regadío.

5. Reutilización de caudales de riego

La cifra de retorno que convencionalmente se admite se sitúa en el entorno del 20%, que debe recogerse con un adecuado drenaje para evitar que se acumule en el suelo con la consiguiente elevación de la capa freática y los correspondientes perjuicios a los cultivos ante la falta de aireación de las raíces. Para la evaluación de los retornos se realizan estudios específicos teniendo en cuenta las condiciones geológicas y de riego. Se determinará el medio receptor de los volúmenes de retorno y se especificará su calidad.

6. Los fertilizantes y los productos fitosanitarios como agentes contaminantes potenciales. La contaminación difusa

El empleo cada vez mayor de fertilizantes y productos fitosanitarios, junto con un riego excesivo en ocasiones, está provocando una contaminación difusa de las aguas superficiales y también subterráneas por infiltración, que ha llevado a que más de la mitad de los embalses haya aumentado su grado de eutrofización. Esta contaminación difusa solo puede limitarse mediante medidas preventivas que reduzcan la aplicación de estos productos. Esta contaminación está aumentando en términos relativos por la progresiva depuración y limitación de los vertidos puntuales. Puede ayudar a reducir esta contaminación difusa la progresiva concienciación ciudadana por estos temas y la preferencia por los cultivos ecológicos.

7. Problemas de salinidad

La salinidad del agua afecta a su disponibilidad para las plantas, ya que una excesiva acumulación de sales en el suelo aumentará el potencial osmótico del agua y la energía de la planta para absorber el agua se ve mermada. Es fundamental lavar el suelo y drenarlo para evitar problemas a largo plazo de desertización. Otro problema es la salinización de acuíferos por la disolución de materiales por los que circula el agua, a la recirculación de aguas de riego cargadas de sales de los tratamientos agrícolas a las que se suman las sales del suelo o la intrusión marina provocada por la invasión de agua de mar cuando se realizan bombeos excesivos.

8. Gestión sostenible de regadíos. Plan Nacional de Regadíos

El Plan Nacional de Regadíos 2000-2006, con horizonte 2008, tiene los siguientes objetivos:

- Ahorro de agua, mediante el uso de tecnologías adecuadas, ahora representa el 68% de la demanda total.
- Mejora ambiental de las zonas de regadío, evitando filtraciones y escorrentías que pueden ser fuentes de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, evitando la sobreexplotación de acuíferos, manteniendo fertilidad de suelos de regadío, actuando contra la desertificación, preservando la biodiversidad de los ecosistemas de regadío, cumpliendo con la normativa ambiental española y europea.
- Mejoras sociales, mejora del nivel de vida y fijación de la población rural en áreas deprimidas, formación de agricultores, mejora del trabajo mediante la automatización y la telegestión.
- Mejora de la productividad agraria.
- Coordinación entre administraciones.

Destacar el papel del centro nacional de tecnología de riegos (CENTER) que presta apoyo al Plan Nacional de Regadíos.

Se contemplan programas de actuación en zonas de regadío existentes (3.000 M€ en 1,1 Mha), en regadíos en ejecución (1.100 M€ en 138.000 ha), regadíos de interés social en áreas deprimidas, regadíos privados, y nuevos regadíos. En total 5.000 M€ actuando en casi 1,4 Mha.

MEA1T20. Energía

1. Aprovechamientos hidráulicos convencionales

Los sistemas convencionales que convierten la energía hidráulica son:

- **Salto a pie de presa**, la elevación del nivel del agua se produce con la presa, y el edificio de la central donde se instalan las turbinas y los alternadores se sitúa al pie de la presa aguas abajo. La energía cinética del agua se transforma en energía mecánica en las turbinas y en corriente eléctrica alterna en los alternadores al girar un imán en presencia de una bobina conductora por la ley de Faraday.
- **Salto en derivación**, con una pequeña presa y una toma antes de ella se conduce el agua por un canal siguiendo la curva de nivel hasta una cámara de carga desde donde siguiendo la línea de máxima pendiente va por una tubería en presión hasta la central.
- **Salto con presa y conducción en presión**, presa con más capacidad reguladora, conducción en presión en túnel con chimenea de equilibrio de donde parte conducción según línea de máxima pendiente a la central, se construye cuando no es posible o conveniente construir una presa que salve todo el desnivel, con esta disposición se utiliza el desnivel de la presa más el desnivel de la conducción.

En todos los casos el agua una vez turbinada se devuelve al cauce prácticamente sin energía por medio de un canal de descarga.

2. Centrales de acumulación o de bombeo y de usos múltiple

Tienen como misión bombear el agua consumiendo energía en las horas valle para que posteriormente sea turbinada aportando energía en hora punta. Se pueden poner turbinas y bombas en la central o máquinas que funcionen de las dos formas (grupos reversibles). Estas centrales deben ser subterráneas, ya que las bombas necesitan contrapresión con el nivel de salida más alto y descarga en presión, por tanto. La contrapresión se consigue con un contraembalse en el que además se acumula el agua que se prevea va a ser bombeada. En casos excepcionales la central puede no ser subterránea, pero debe reforzarse para resistir las presiones del agua del contraembalse y evitar filtraciones.

Se distinguen 2 tipos:

- **Central de bombeo mixta**, predomina el volumen turbinado sobre el bombeado, lo que ocurre cuando la central deriva agua de un río.
- **Central de bombeo pura**, donde un grupo reversible entre dos depósitos (naturales o artificiales) a diferentes niveles turbine o bombee alternativa e indefinidamente según falte o sobre potencia en el mercado sin recibir agua de una corriente natural.

Esta disposición puede tener un balance negativo de energía, pero puede ser útil económica y funcionalmente por la diferencia de precio entre la energía consumida y la aportada. De forma indirecta con estas centrales se pueden resolver problemas de bombeo para riego y abastecimientos, razón por la que reciben también el nombre de centrales de usos múltiples.

3. Obras civiles de carácter hidroeléctrico

Además de las presas y las conducciones tratadas en otros temas, las más características son:

- **Centrales hidroeléctricas convencionales**, reúnen todos los elementos que intervienen en la transformación de la energía (terminales de la conducción, grupos turbina-alternador, obras de desagüe, dependencias para control), suelen tener varios grupos para adaptarse a la potencia, facilidad de montaje y mayor garantía ante avería en uno de ellos, suelen ser todos iguales por las ventajas de stock y control que ofrecen.

Se distinguen los siguientes tipos:

- Cubiertas, son las más corrientes, están dominadas longitudinalmente por un puente grúa que desliza sobre 2 vigas carril apoyadas en los pilares de la estructura, en un extremo del recorrido del puente-grúa se dispone una zona de descarga y recepción de piezas (sala de desencubado) donde tienen acceso los vehículos de transporte. El puente-grúa se dimensiona para la pieza más pesada que suele ser el rotor del alternador, de hasta 120 t.
- De intemperie, donde el tamaño de las máquinas no justifica la disposición de varios pisos y el elemento superior queda a nivel del suelo. El montaje se realiza mediante un Pórtico metálico exterior móvil sobre raíles. La maquinaria debe estar diseñada para resistir la intemperie. Se trata de obras pequeñas y el empleo de este sistema está en desuso.
- Semienterradas, la cubierta suele ser una estructura independiente y plegable o abatible por zonas para la entrada y salida de piezas que se realiza también mediante un pórtico grúa exterior.
- Subterráneas, muy empleadas últimamente gracias a los avances en la técnica de voladuras, como solución a problemas de resistencia del terreno exterior a las fuertes cargas de la cimentación, o a falta de espacio.
- De pie de presa, en ellas las conducciones atraviesan la presa y la central está adosada a ésta a través de una junta estructural sin interferir en su perfil resistente, en valles estrechos el aliviadero vierte por encima de la central sirviéndole de cubierta.
- **Estaciones de bombeo y centrales reversibles**, similares en cuanto a organización a las convencionales cambiando turbinas por bombas o grupos reversibles y estando provistas de contraembalse.

4. Tecnologías energéticas, convencionales y renovables. Usos: generación eléctrica, aprovechamiento térmico y transporte

La generación eléctrica consiste en transformar energía primaria en energía eléctrica mediante las siguientes tecnologías:

- **Nuclear**, basada en la fisión (rotura) de los núcleos de uranio, el calor obtenido se utiliza para producir vapor que se turbinado para producir electricidad.
- **Térmica convencional**, basada en quemar algún tipo de combustible fósil (carbón, gas natural y fuelóleo) para producir vapor, el cual es turbinado para producir electricidad.
- **Térmica de ciclo combinado**, donde la energía térmica del gas natural es transformada en electricidad mediante dos ciclos termodinámicos consecutivos, primero una turbina de gas y después una turbina de vapor, con un rendimiento muy superior al de la térmica convencional, siendo menos contaminantes, más fiables y más flexibles.
- **Cogeneración**, con instalaciones donde se obtiene simultáneamente electricidad y energía térmica empleando gas en general. Esta tecnología reduce la emisión de contaminantes debido a su elevado rendimiento ya que es necesario utilizar menos combustible que si se produjeran electricidad y calor/frío mediante procesos separados.
- **Eólica**, en estas instalaciones se produce electricidad a partir de la energía cinética del viento. Generalmente se agrupan en un mismo emplazamiento varios aerogeneradores, formando “parques eólicos” tanto terrestres (on-shore) como marinos (off-shore).
- **Hidráulica**, ya descrita en los epígrafes anteriores.
- **Solar**, con sus dos variedades: solar fotovoltaica que transforma directamente la energía solar en electricidad mediante semiconductores que generan electricidad cuando incide sobre ellos la radiación solar; y solar termoeléctrica basada en el aprovechamiento de la energía del sol para obtener energía eléctrica a través del calentamiento de un fluido.
- **Biomasa**, estas centrales son similares a las térmicas convencionales, pero el combustible utilizado es de origen orgánico vegetal procedentes de residuos (forestales, agrícolas, etc.) o de cultivos energéticos.
- **Energía del mar**, que se manifiesta de distintas formas: energía de las mareas o mareomotriz basada en el ascenso y descenso del agua del mar producido por la acción gravitatoria del Sol y la Luna; energía de las corrientes basada en la energía cinética de las corrientes marinas; energía maremotérmica basada en el gradiente térmico por la diferencia de temperaturas entre la superficie y las aguas profundas; energía de las olas o undimotriz producida por el movimiento ondulatorio de la superficie del agua del mar; y energía azul o potencia osmótica obtenida por la diferencia en la concentración de sal entre el agua de mar y el agua dulce de los ríos mediante la ósmosis.
- **Geotermia**, energía cuyo origen proviene del calor del interior de la Tierra.

Todas las tecnologías son necesarias, ya que se complementan para suministrar de la forma más adecuada posible, en términos de coste y seguridad de suministro, la energía demandada en cada momento. Adicionalmente, dada la imposibilidad de almacenar energía en cantidades elevadas, se debe producir en cada instante exactamente la energía eléctrica que se demanda. Dada la volatilidad en el corto plazo de la demanda y de la producción con energías renovables, son necesarias tecnologías que puedan incrementar o reducir su producción muy rápidamente para poder seguir esas variaciones.

Por otra parte, cada vez es más necesario disponer de tecnologías que permitan satisfacer las restricciones medioambientales, generando electricidad sin contaminar, y que aporten seguridad de suministro en el sentido de mitigar el riesgo de desabastecimiento de combustibles provenientes del exterior (riesgo geopolítico) o el derivado de factores no controlables como las variables climáticas.

Otro aspecto a resaltar es la diferencia entre la potencia instalada (capacidad máxima de producción funcionando a pleno rendimiento) y la producción real de cada instalación generadora de energía. Por “utilización” se entiende la relación entre la energía producida y la potencia instalada.

La utilización de la potencia instalada en centrales térmicas convencionales y en ciclos combinados depende en gran medida de la producción de las tecnologías fluyentes como la eólica o la hidráulica. La parte de la demanda no cubierta por estas tecnologías es lo que se denomina “hueco térmico”, que ha de ser cubierto con térmicas convencionales y ciclos combinados.

La energía disponible en el mercado eléctrico español proviene de las tecnologías indicadas según una combinación que se denomina mix energético. En el año 2023 el mix energético tuvo la siguiente composición principal: eólica 24%, nuclear 20%, ciclo combinado 17%, solar 16%, hidráulica 10%, cogeneración 7% y resto de tecnologías 6%. La energía de origen renovable alcanzó el 50,3% de la generación total de energía (récord histórico), que fue de 267.000 GWh, mientras que su potencia instalada representó el 61% del total.

El transporte eléctrico permite transferir la energía producida en las centrales hasta los centros de consumo, y se efectúa a través de líneas de transporte a tensiones elevadas para reducir las pérdidas que, junto con las subestaciones eléctricas, forman la red de transporte. Las líneas de transporte o líneas de alta tensión están constituidas por un elemento conductor (cobre o aluminio) y por los elementos de soporte (torres de alta tensión). La red de transporte está mallada, lo que significa que todos los puntos están interconectados y que, si se produce una incidencia en algún lugar, el abastecimiento está garantizado ya que la electricidad puede llegar desde otra línea. Además, la red de transporte está telecontrolada, es decir, las averías se pueden detectar y aislar desde el centro de control. En España es Red Eléctrica la compañía encargada del transporte de la energía eléctrica en alta tensión, con una red de transporte compuesta por más de 45.000 km de líneas de alta tensión y más de 700 subestaciones.

MEA1T21. Otros usos del agua

1. El agua en la industria

Hay industrias que consumen agua por incorporarla al producto (cervecera y bebidas no alcohólicas, p.e.) y otras que la usan en el proceso de fabricación, pero no aparece en el producto acabado, que son la mayoría.

El empleo del agua para la industria comprende la utilización específica en productos, en procesos de fabricación, acondicionamiento y conservación, alimentación e higiene del personal, mantenimiento, seguridad, etc.

El abastecimiento se realiza por captaciones propias para la industria, por la red municipal o por ambas.

Exige altos niveles de garantía. La calidad exigida al agua depende de la participación de agua en el proceso según el tipo de industria.

La demanda de agua depende mucho del tipo de industria y de sus características concretas. Los retornos también varían enormemente con el tipo de industria, algunos son muy contaminantes y de difícil tratamiento.

No es previsible un aumento de la dotación para uso industrial por la evolución de los procesos productivos y de las posibilidades de reutilización y reciclaje de aguas industriales.

2. Evaluación de necesidades

Existe escaso conocimiento sobre la demanda real de cada una de las industrias debido a su gran dispersión, a la complejidad del proceso industrial y a la falta de controles estadísticos, lo que ha llevado a establecer las dotaciones en función de la superficie ocupada en el caso de polígonos industriales, o del número de empleados o del valor añadido bruto para industrias concretas, y no referidas a unidad de producto que podrían ser más exactas.

La determinación de las demandas futuras resulta difícil por las incertidumbres de evolución del desarrollo industrial. Las necesidades de agua tanto en dotación unitaria como en volumen total han crecido especialmente en España en los últimos 20 años previos al inicio de la crisis en 2008, coincidiendo con un intenso desarrollo industrial, y aumentado más que la población y su consumo. En los últimos años el consumo industrial de agua ha permanecido constante por la ralentización económica y una mayor eficiencia de los procesos productivos.

Para determinar la demanda urbana se utiliza el concepto de habitante-equivalente para el abastecimiento urbano, que es el cociente entre la demanda industrial y la demanda per cápita.

3. Refrigeración de centrales térmicas de combustión fósil o nuclear

Toda gran central térmica necesita un importante caudal de agua fría para alimentar los condensadores.

Existen dos tipos de instalaciones de refrigeración:

- **Refrigeración directa o por circuito abierto**, sería posible adoptar este sistema cuando se dispone de agua en abundancia que permite desentenderse de los problemas técnicos por elevación de temperatura, aunque tienen como condicionante que la temperatura en el cauce no se puede elevar más de 3°C. Cuando se empleaba este sistema de refrigeración (ahora en desuso) había unas demandas muy grandes, con valores que en el Ebro con la central nuclear de Ascó llegaban a superar los 2.000 hm³/año.
- **Refrigeración indirecta o por circuito cerrado**, cuando el volumen de agua disponible no es lo suficientemente grande, se utilizan torres de refrigeración que favorecen el intercambio de energía con la atmósfera por el sistema de aumentar extraordinariamente la superficie de convección y evaporación. Se convierte el caudal de circulación en una fina lluvia al atravesar la torre y se crea una fuerte corriente de aire a su través. La cantidad de agua utilizada es inferior al 1% de la del sistema de refrigeración directa para cubrir pérdidas por evaporación en la torre de refrigeración.

4. Calor a disipar

La mayoría de los vertidos térmicos los originan las centrales térmicas con refrigeración directa, alteran las propiedades físicas del agua y afectan al metabolismo, crecimiento y reproducción de la población, cambiando la dominancia a especies más termófilas. Aumenta el crecimiento y necesidades nutricionales de macroinvertebrados y peces, condicionando su supervivencia.

El RDPH limita el incremento de temperatura a 3°C en ríos, mientras que en lagos y embalses el vertido no podrá superar los 30°C.

5. Caudal de refrigeración y de dilución

En la refrigeración directa, por 1GW de potencia, que es la que tienen las centrales termoeléctricas de tipo nuclear, se precisarían del orden de 50 m³/s que elevan su temperatura 10°C, como el límite es 3°C sería necesario un caudal de dilución de 167 m³/s para cumplir esa condición. Con esto, solo en los tramos bajos de los ríos Miño, Tago, Duero y Ebro se podría pensar en aplicar esta técnica, pero dadas las altas temperaturas que ya presentan los ríos, en la práctica ya no es posible emplear la refrigeración directa en España. De hecho, por ejemplo, la central nuclear de Ascó construyó en 1995 su torre de refrigeración para adoptar el sistema de refrigeración indirecta.

En la refrigeración indirecta o por circuito cerrado, para 1 GW solo requiere del orden de 1 m³/s para cubrir pérdidas de evaporación en la torre de refrigeración, evitándose así la dilución de grandes caudales a altas temperaturas.

Para evitar o reducir a límites aceptables la contaminación de los cauces públicos provocada por los vertidos industriales, hay dos procedimientos: o bien depurar el efluente o diluirlo en un volumen suficiente para lograr un índice limitado de polución aguas abajo del vertido.

En ningún caso el cumplimiento de los valores límites de emisión de un vertido podrá alcanzarse mediante técnicas de dilución según establece el RDPH.

6. Navegación fluvial

Hace algún tiempo que desaparecieron las antiguas actividades de transporte de maderas que se realizaban en algunos ríos españoles como el Segre, el Sorbe, el alto Segura o el Tajo, o el transporte de carbón mediante barcazas en el Ebro.

La navegación en canales tampoco ha prosperado en nuestro país. Algunos canales que tuvieron la navegación como uno de sus fines primordiales, como el Canal Imperial o el Canal de Castilla, que se utilizó para el transporte de cereales en barcazas arrastradas por caballerías, han acabado por atender exclusivamente usos de riego y abastecimiento de poblaciones.

Actualmente, la navegación comercial se limita prácticamente al tramo bajo del Guadalquivir, que permite el tránsito de barcos de pequeño y mediano tonelaje, contando con las esclusas situadas junto a la dársena del puerto de Sevilla.

Por el contrario, en los últimos años se ha incrementado la navegación de carácter deportivo, tanto en embalses como en los tramos de algunos ríos acondicionados para ello.

7. Usos recreativos

Bajo el concepto de uso recreativo del agua se engloban aprovechamientos del DPH muy variados con el objetivo común de satisfacer los requerimientos de ocio y esparcimiento de la sociedad.

Hay distintos usos que, aunque pueden parecer recreativos, son clasificados como otros usos industriales en el RDPH:

- Los usos en industrias de ocio y turismo que incluyen los que implican derivar agua del medio natural y tienen como finalidad posibilitar esta actividad en instalaciones deportivas (campos de golf, estaciones de esquí, parques acuáticos, complejos deportivos y asimilables), picaderos, guarderías caninas y asimilables, así como las que tienen como finalidad el mantenimiento o rehabilitación de instalaciones industriales culturales: fraguas, fuentes, aserraderos, lavaderos, máquinas y otros de este tipo. El uso recreativo es difícil de separar del urbano porque en general se abastecen a través de la misma red, pero cuando existe separación se consideran dentro de la categoría de otros usos industriales. Por su parte, el riego de los campos de golf suele considerarse, a menudo, incluido en la demanda de regadío.
- Los que usan el agua en embalses, ríos y parajes naturales de un modo no consuntivo, como vela, remo, piragüismo, baño o pesca. Pueden requerir el mantenimiento de ciertos niveles de agua en los embalses y caudales en los ríos, con un cierto “consumo” de agua por una mayor evaporación asociada a un mayor nivel de agua en los embalses.
- Los que se relacionan con el agua de un modo indirecto como uso escénico, acampadas, senderismo, actividades turísticas. Pueden representar ciertos consumos de agua en los puntos de abastecimiento de lugares de acampadas y excursiones.

Los usos recreativos incluyen los que no están incluidos en los puntos anteriores y tienen un carácter recreativo privado o colectivo sin que exista actividad industrial o comercial, y, en concreto, las actividades de ocio que usan el agua en embalses, ríos y parajes naturales de un modo no consuntivo. Queda excluida la navegación recreativa particular.

Los usos recreativos en ríos pueden condicionar la gestión de los sistemas de explotación de un modo parecido a los caudales ambientales, pues en ambos casos se procura mantener un caudal mínimo en el cauce. Se diferencian, sobre todo, en su finalidad, que en un caso es la conservación del medio ambiente y en otro el recreo de los ciudadanos. Los dos conceptos se aproximan si la base del recreo son los ríos y los parajes naturales ecológicamente intactos.

No obstante, en la actualidad existen muy pocos casos en que la gestión de los sistemas de explotación esté condicionada por los usos recreativos, pero se puede citar como ejemplo el caso del río Noguera-Pallaresa, donde los desembalses para la producción hidroeléctrica se efectúan de modo coordinado con la demanda de deportes acuáticos como el rafting.

La correcta evaluación de la demanda asociada a los usos recreativos es complicada, debido a la diversidad de actividades que comprende y a la consiguiente dificultad para la obtención de datos sobre la participación de los ciudadanos en estas actividades, sin que exista, en general, una afiliación de los aficionados a asociaciones de carácter recreativo. Por tanto, en muchos casos las actividades relacionadas con el disfrute de la naturaleza y los deportes al aire libre no suelen reflejarse en las estadísticas oficiales.

Además, no existe una relación fácilmente cuantificable entre las actividades realizadas y la cantidad de agua que requieren. Parece evidente que el creciente número de ciudadanos que quieren aprovechar los embalses y ríos para baño y recreo acabará demandando una mayor consideración de sus intereses. Sin embargo, la repercusión cuantitativa de estas presiones sobre los recursos hídricos requiere ser evaluada de forma particular en cada caso concreto.

Puede considerarse, por tanto, que el uso recreativo del agua en España tiene en la actualidad un carácter relativamente marginal, y su demanda es atendida cuando las necesidades de otros usos están satisfechas y sin que se vean perjudicados por aquél. La sociedad puede exigir en un futuro una mayor consideración de los usos recreativos del agua.

MEA1T22. Las obras hidráulicas

1. Las obras hidráulicas. Concepto y naturaleza jurídica de las obras hidráulicas: competencias para la ejecución, gestión y explotación de las obras hidráulicas públicas

Concepto. Las obras hidráulicas están reguladas en el TRLA, donde se define obra hidráulica como la construcción de bienes de naturaleza inmueble destinados al aprovechamiento de aguas, saneamiento, depuración y reutilización de las aprovechadas; la actuación sobre cauces, corrección del régimen de corriente y protección frente a avenidas, así como todas aquellas actuaciones necesarias para la protección del DPH.

Naturaleza jurídica. Pueden ser de titularidad pública, destinadas a garantizar la protección, control y aprovechamiento del DPH que sean competencia de la AGE, las CCAA y las entidades locales; o de titularidad privada. Requieren la previa habilitación administrativa que legitima el aprovechamiento de agua mediante la correspondiente concesión o autorización (para las obras hidráulicas de titularidad privada), o reserva demanial (para las obras hidráulicas de titularidad pública). La reserva demanial es una reserva del dominio público que hace la propia Administración para sí, impidiendo su uso privativo por terceros.

Competencias para la ejecución, gestión y explotación de las obras hidráulicas públicas. Se establece como sigue:

- Son competencia de la AGE las obras hidráulicas de interés general. La gestión de estas obras podrá realizarse directamente por los órganos competentes del MITECO o a través de las Confederaciones Hidrográficas. También podrán gestionar la construcción y explotación de estas obras las CCAA y las entidades locales, en virtud de convenio específico o encomienda de gestión.
- Son competencia de las Confederaciones Hidrográficas las obras hidráulicas realizadas con cargo a sus fondos propios, en el ámbito de las competencias de la AGE.
- El resto de las obras hidráulicas públicas son de competencia de las CCAA y de las entidades locales, de acuerdo con lo que dispongan sus respectivos Estatutos de Autonomía y sus leyes de desarrollo, y la legislación de régimen local.
- La AGE, las Confederaciones Hidrográficas, las CCAA y las entidades locales podrán celebrar convenios para la realización y financiación conjunta de obras hidráulicas de su competencia.

La explotación y el mantenimiento de las obras hidráulicas se pueden encomendar a las Comunidades de usuarios que les afecten mediante convenios que fijen el régimen económico financiero de dicha encomienda de gestión por parte de la AGE o las confederaciones hidrográficas. También pueden ser beneficiarios directos, sin concurrencia, de concesiones de construcción de las obras hidráulicas que les afecten, que estarán reguladas por convenio específico entre la AGE y los usuarios fijando las ayudas públicas asociadas a cada operación.

2. Obras hidráulicas de interés general, declaración de obras hidráulicas de interés general, prerrogativas de las obras hidráulicas de interés general

Obras hidráulicas de interés general. Según el TRLA tendrán la consideración de obras hidráulicas de interés general y serán de competencia de la AGE:

- a) En el ámbito de las cuencas intercomunitarias:
 - Las que sean necesarias para la regulación y conducción del recurso hídrico al objeto de garantizar la disponibilidad y aprovechamiento del agua en toda la cuenca.
 - Las que sean necesarias para el control, defensa y protección del DPH, sin perjuicio de las competencias de las CCAA, especialmente frente a inundaciones, sequías y otras situaciones excepcionales.
 - Las obras de corrección hidrológico-forestal que afecten a más de una comunidad autónoma.
 - Las obras de abastecimiento, potabilización y desalación que afecten a más de una comunidad autónoma.
- b) Las que sean declaradas por ley. No obstante, podrán ser declaradas obras hidráulicas de interés general mediante Real Decreto las siguientes:
 - Las contempladas en el apartado a) en las que no concurren las circunstancias en él previstas, a solicitud de la Comunidad Autónoma en cuyo territorio se ubiquen, cuando por sus dimensiones o coste económico tengan una relación estratégica en la gestión integral de la cuenca hidrográfica.
 - Las obras necesarias para la ejecución de planes nacionales, distintos de los hidrológicos, pero que guarden relación con ellos, siempre que el mismo plan atribuya la responsabilidad de las obras a la Administración General del Estado, a solicitud de la Comunidad Autónoma en cuyo territorio se ubique.
- c) La declaración como obras hidráulicas de interés general de las infraestructuras necesarias para las transferencias de recursos hidráulicos entre ámbitos territoriales de distintos planes hidrológicos de cuenca., sólo podrá realizarse por la norma legal que apruebe o modifique el Plan Hidrológico Nacional.

La iniciativa de declaración de una obra hidráulica como de interés general, conforme al apartado b), le corresponde al MITECO de oficio o a instancia de interesados que pueden ser otros ministerios, CCAA, entidades locales y comunidades de usuarios. Serán oídos en el correspondiente expediente las CCAA y las entidades locales.

Para declarar una obra hidráulica de interés general, debe ponderarse la adecuación del proyecto a las exigencias medioambientales e incluir una propuesta de financiación de la construcción y explotación de la obra, así como un estudio sobre los cánones y tarifas a satisfacer por los beneficiarios, que será informado por el Ministerio de Hacienda y revisado cada 6 años si no se hubiera llevado a cabo la obra.

Prerrogativas de las obras hidráulicas de interés general. Las obras hidráulicas de interés general y las obras y actuaciones hidráulicas de ámbito supramunicipal, incluidas en la planificación hidrológica, y que no agoten su funcionalidad en el término municipal en donde se ubiquen, no estarán sujetas a licencia municipal ni a ningún acto de control preventivo municipal. Los órganos urbanísticos competentes no podrán suspender su ejecución, siempre que se haya cumplido el trámite de informe previo y las obras se ajusten al proyecto aprobado por el órgano competente. El informe previo deberá pronunciarse exclusivamente sobre aspectos relacionados con el planeamiento urbanístico y se entenderá favorable si no se emite y notifica en el plazo de 1 mes.

3. Coordinación de competencias concurrentes, declaración de utilidad pública y necesidad de ocupación

Coordinación de competencias concurrentes. Cuando existan entre las diversas administraciones, tienen los deberes de coordinación en la ordenación territorial, disponibilidad, calidad y protección de las aguas, así como en las iniciativas que promuevan. Respecto a las cuencas intercomunitarias, los planes de ordenación territorial y urbanística que afecten a terrenos previstos para infraestructuras hidráulicas de interés general contemplados en los planes hidrológicos de cuenca o en el PHN, requerirán, antes de su aprobación inicial, informe vinculante del MITECO que versará sobre la relación entre tales obras y la protección y utilización del DPH, que se entenderá positivo si no se emite y notifica antes de 2 meses.

Declaración de utilidad pública y necesidad de ocupación. La aprobación de los proyectos de obras hidráulicas de interés general llevará implícita la declaración de utilidad pública y la necesidad de ocupación de los bienes y adquisición de derechos a efectos de expropiación forzosa y ocupación temporal. La propuesta de declaración de urgencia para la ocupación de bienes y derechos afectados por obras hidráulicas de interés general corresponderá a la Dirección General del Agua del MITECO.

4. Régimen jurídico de las Sociedades Estatales de Aguas

El Consejo de Ministros puede constituir Sociedades Estatales de Aguas cuyo objeto social sea la construcción y/o explotación de ciertas obras públicas hidráulicas que al efecto determine el propio Consejo de Ministros.

Asimismo, dichas sociedades podrán tener por objeto la adquisición de obras hidráulicas, públicas o privadas, previo cumplimiento de los trámites y requisitos establecidos por la normativa vigente, y en especial el de desafectación del demanio público cuando corresponda, para su integración a sistemas hidráulicos con el fin de conseguir un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos y una gestión más eficiente de los mismos.

La relación entre la AGE y las sociedades estatales se regulará por convenios, previo informe favorable del Ministerio de Economía, autorizados por el Consejo de Ministros, y que contengan al menos:

- El régimen de construcción y explotación de las obras.
- Las potestades de la AGE sobre la dirección, control y recepción de las obras, que será la titular de tales obras.
- Las aportaciones económicas que haya de realizar la AGE a la sociedad estatal.
- Las garantías que hayan de establecerse a favor de las entidades que financien la construcción o explotación de las obras.

En los contratos que las sociedades estatales realicen con terceros para la construcción de las obras públicas hidráulicas se observarán las siguientes reglas:

- Se aplicará la LCSP en lo concerniente a su preparación y adjudicación.
- Se incluirán cláusulas para la adecuada defensa de los intereses públicos por las sociedades estatales y por la AGE.
- El orden jurisdiccional contencioso-administrativo conocerá de las cuestiones que se susciten en relación con la preparación y la adjudicación.

Las sociedades estatales serán beneficiarias por causa de utilidad pública en los procesos de expropiación forzosa que se desarrollen con ocasión de la construcción, adquisición o explotación de las obras públicas hidráulicas que lleven a cabo.

En España hay actualmente dos Sociedades Estatales de Aguas, que son: AcuaEs (fruto de la fusión de AcuaSur, AcuaNorte y AcuaEbro) y AcuaMed. Ambas tienen la calificación jurídica de sociedades mercantiles estatales.

5. Contrato de concesión de obras hidráulicas

Los contratos de concesión de obras hidráulicas se rigen por la LCSP, el objeto puede ser la explotación de una obra ya construida o la construcción y explotación por un tiempo máximo de 75 años. Las obras son financiadas por el concesionario (total o parcialmente), por la administración concedente u otras, por otros organismos nacionales o internacionales, o por financiación privada de terceros.

El amplio campo de la iniciativa privada no se reduce a la financiación, sino que también puede elaborar el proyecto o incluso fijar bilateralmente las obligaciones contractuales. Puede también excitar la convocatoria de una concesión. La administración puede obligar a incorporar a Comunidades de Usuarios a la Sociedad Concesionaria.

MEA1T23. Presas I

1. Presas I: Generalidades. Avenidas y otros criterios de proyecto

Generalidades. Las presas son unas de las obras más grandes e importantes, deben resistir grandes cargas, en terrenos a veces muy complicados, lo que exigen una elevada tecnología y especialización.

Tienen 2 funciones principales al retener el agua en un cauce: elevar su nivel, y formar un depósito con un doble propósito, regular caudales y laminar avenidas.

Las presas regulan el agua, la dan cuando hace falta y la contienen cuando puede dañar, favorecen los riegos, generan energía, procuran abastecimientos de aguas, protegen los campos y las ciudades, etc. En general, cuando una presa tiene cierta altura genera un embalse que suele ser predominante.

En España existen más de 1.200 grandes presas y los embalses tienen una capacidad total de 56.000 hm³, de los que aproximadamente la mitad son hidroeléctricos.

Avenidas y otros criterios de proyecto.

El Real Decreto 264/2021 aprueba 3 Normas Técnicas de Seguridad para las presas y sus embalses, con una de ellas dedicada al proyecto, construcción y puesta en carga de presas y llenado de embalses, que establece los siguientes periodos de retorno para la avenida de proyecto (máxima avenida para el dimensionamiento de los órganos de desagüe y las estructuras de disipación de energía), y la avenida extrema (mayor avenida que la presa debe soportar sin producirse su desbordamiento, salvo vertidos accidentales por oleaje producido por el viento, que no comprometan su seguridad, lo que significa que en presas de materiales sueltos no se admitirán vertidos sobre la coronación, salvo que estén específicamente proyectadas para ello):

Categoría de la presa frente al riesgo	Periodo de retorno de la avenida (años)		
	Avenida de proyecto	Avenida extrema	
		Presas de fábrica	Presas de materiales sueltos
A	1.000	5.000	10.000
B	500	1.000	5.000
C	100	500	1.000

Para el dimensionamiento del desvío del río durante la construcción de la presa se determinará una avenida de construcción, en función de los riesgos asumibles durante el periodo de ejecución de las obras, cuya probabilidad de superación en dicho periodo, para una estimación prudente del plazo de ejecución, será:

Categoría de la presa frente al riesgo	Probabilidad de superación	
	Presas de fábrica (%)	Presas de materiales sueltos (%)
A	≤ 10	≤ 5
B	≤ 20	≤ 10
C	≤ 25	≤ 20

En el proyecto de construcción se comprobará el comportamiento estructural de la presa ante las solicitaciones actuantes y sus posibles combinaciones, y se justificarán los niveles de seguridad que se adopten en cada caso según el tipo de solicitud, la probabilidad de ocurrencia y su presunta permanencia, así como la categoría de la presa y su tipología y dimensiones. Las acciones a considerar actuando sobre la presa serán: peso propio, carga hidrostática, presiones intersticiales, efectos térmicos, empuje de los sedimentos, efecto del oleaje, efectos sísmicos, empuje del hielo, y las particulares que procedan en cada caso. Las acciones se combinarán entre sí, atendiendo a su probabilidad de presentación y a su permanencia, dando origen a los tipos de situaciones siguientes:

- Situaciones Normales: corresponden a combinaciones de acciones que se puedan presentar en el tiempo con apreciable persistencia con el embalse en distintos niveles con el límite del Nivel Máximo Normal (máximo nivel que se alcanza en el embalse cuando todos los órganos de desagüe se encuentran cerrados).
- Situaciones Accidentales: corresponden a combinaciones de acciones que se puedan presentar en el tiempo con duración limitada con el embalse en distintos niveles con el límite del Nivel de la Avenida de Proyecto (máximo nivel que alcanzará el agua en el embalse, considerando su acción laminadora, durante el paso de la Avenida de Proyecto).
- Situaciones Extremas: corresponden a combinaciones de acciones que se puedan presentar en el tiempo con carácter extremo con el embalse en distintos niveles con el límite del Nivel de la Avenida Extrema (máximo nivel que alcanzará el agua en el embalse, considerando su acción laminadora, durante el paso de la Avenida Extrema).

2. Criterios generales de predimensionamiento

Algunos de los aspectos principales a considerar en el predimensionamiento de una presa son:

- Topografía, características geométricas de la cerrada de la presa y del vaso del embalse, con el objetivo de ubicar la presa en el mejor emplazamiento posible, teniendo en cuenta las curvas de volúmenes y superficies de embalse, tanto las naturales como, si se prevén, las de actuaciones en el vaso o posibles sedimentaciones futuras.

- Condiciones geotécnicas, analizando además de la capacidad portante, posibles filtraciones y problemas de inestabilidad que se pudieran presentar, no sólo en el emplazamiento de la presa, sino también en aquellas laderas que puedan influir sobre las condiciones de explotación por posibles afecciones al vaso del embalse.
- Estudio de aportaciones, para cuantificar el recurso hídrico disponible y su distribución temporal y espacial.
- Estudio de regulación, evaluando el aprovechamiento del recurso hídrico disponible con distintos esquemas y dimensiones de las obras y con diversas estrategias de explotación en función de los diferentes usos.
- Estudio de avenidas, en función del hidrograma y de las características del embalse se determina su efecto laminador y el caudal de salida por el aliviadero.
- Procedencia de materiales, el diseño de la presa se debe orientar en general al empleo de materiales disponibles en las proximidades de la obra, contemplando una presa “construible”.
- Plan de obra, con el objeto de asegurar que la construcción de la presa es posible con los métodos existentes y en unos plazos compatibles con la disposición de un volumen de maquinaria razonable con rendimientos factibles.
- Desvío del río durante la construcción, se debe tener en cuenta en el predimensionamiento en función de su importancia, complicación o relación con el diseño de la presa.
- Tratamientos del terreno en fases de construcción, puesta en carga y explotación, si se prevén de importancia, son un elemento más a considerar en el predimensionamiento de la presa, considerando sus tipos, criterios y procedimientos de aplicación.

3. Clasificación tipológica de las presas

En cuanto a la situación del aliviadero: presas vertedero (sobre la misma presa), o vertedero independiente de ella.

Según la forma de resistir el empuje hidrostático:

- Presas de gravedad, resisten por peso, pueden ser:
 - Macizas.
 - Aligeradas con contrafuertes.
- Presas bóvedas, transmiten los empujes al terreno, tiene doble curvatura en horizontal y vertical.
- Presas arco-gravedad, intermedia entre la anteriores, curvatura solo en horizontal.
- Presas con bóvedas múltiples, son un tipo mixto con contrafuertes equidistantes de sección rectangular y unas bóvedas que apoyan sobre ellos.

Según el material empleado:

- Presas de materiales sueltos (piedras, gravas, arenas, limos, arcillas y suelos en general), se dividen en:
 - Presas de escollera, predomina piedra gruesa.
 - Presas de tierra, construidas con materiales térreos.
 Necesitan una pantalla aguas arriba o diafragma impermeabilizante, que puede ser de hormigón armado, materiales bituminosos y arcillas en núcleo o diafragma.
- Presas de fábrica, actualmente ya solo de hormigón, ya no se construyen de mampostería ni de ladrillo.

El tipo de presa se elige en función de los siguientes factores: topografía de la cerrada, características geológicas y geotécnicas de la cerrada, coste de la obra, sismicidad, incidencia en el medio ambiente, funcionalidad durante la explotación, hidrología (desvío del río y aliviaderos en función de las máximas avenidas), disponibilidad de materiales, flexibilidad ante una ejecución por etapas, y situación aguas abajo.

El RD 264/2021, por el que se aprueban las NTS para las presas y sus embalses, y el RDPH clasifican también las presas en función de sus dimensiones:

- Grandes presas, aquellas con altura superior a 15 m, o las que, teniendo una altura entre 10 y 15 m, tienen una capacidad de embalse superior a 1 hm³.
- Pequeñas presas, el resto.

En función del riesgo potencial que pueda derivarse de su rotura o funcionamiento incorrecto y de acuerdo con la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones, las NTS para las presas y sus embalses y el RDPH, se clasifican en:

- Categoría A, si puede afectar gravemente a núcleos urbanos (más de 5 viviendas) o servicios esenciales (de los que dependan 10.000 habitantes o más), o producir daños materiales o medioambientales muy importantes.
- Categoría B, si puede afectar a un reducido número de viviendas (entre 1 y 5) u ocasionar daños materiales o medioambientales importantes.
- Categoría C, si puede producir daños materiales de moderada importancia y sólo incidentalmente pérdida de vidas humanas, además de todas las que no son A o B.

MEA1T24. Presas II

1. Presas II: Presas de hormigón y de materiales sueltos: tipologías, elementos funcionales y materiales

Presas de hormigón

Las presas de hormigón pueden ser presas de gravedad, bóvedas, arco-gravedad, y con bóvedas múltiples.

La sección transversal de una presa de gravedad consiste fundamentalmente en un triángulo rematado por un trapecio menor que sirve de coronación proporcionando un resguardo sobre el nivel máximo del embalse frente a eventuales sobreelevaciones imprevistas, vertidos o salpicaduras de olas, y para el paso de peatones y vehículos. El vértice superior del triángulo suele coincidir con el nivel para la avenida de proyecto (NAP). Los taludes de la presa suelen ser: el de aguas arriba, próximo a la vertical con talud 5H:100V; y el de aguas abajo 7H:10V u 8H:10V. Cuando la presa es vertedero, en la parte correspondiente a éste la sección se modifica sustancialmente para permitir el paso del agua.

Además, en el cuerpo de la presa se disponen una serie de galerías visitables con una doble función: servir de base para la inspección y eventual inyección, y ser extremo de los drenes que controlan las filtraciones y tienen por objeto reducir la subpresión en la cimentación de la presa. Estas galerías se ponen normalmente a unos 20 m de distancia vertical. Los drenes suelen tener un diámetro de 0,10 m separados del orden de 2-3 m.

Las tres premisas principales que determinan la caracterización de los hormigones en masa utilizados en la construcción de presas son: durabilidad, impermeabilidad y economía. La resistencia es otro factor a considerar, si bien, el cumplimiento de los anteriores, lleva en general asociado resistencias mínimas superiores a las requeridas en hormigones de presas.

En las presas de hormigón se ejecutan grandes volúmenes de este material que convierten sus núcleos en recintos casi adiabáticos (no intercambian calor con su entorno), y el cimiento rígido sobre el que se asienta la presa constituye una restricción importante que impide su libre deformación, de forma que las variaciones térmicas inducen tensiones que, en el caso de exceder a la resistencia a tracción del hormigón, van a provocar la indeseable fisuración del material. El incremento de temperatura que experimenta el hormigón una vez puesto en obra depende, fundamentalmente, del tipo y cantidad de conglomerante. Siendo uno de los objetivos la reducción de dicha temperatura, resultan imprescindibles ciertos cambios respecto al conglomerante que se utilizaría en un hormigón convencional. Esto se consigue con la incorporación de puzolanas y cenizas a través del cemento, lo que además proporciona una mayor trabajabilidad a la mezcla fresca, que se traduce en una reducción del agua de amasado con aumento de la resistencia y durabilidad en el hormigón.

El hormigón compactado con rodillo (HCR, o RCC en inglés) es un hormigón con una reducida cantidad de agua de amasado, compatible con el tránsito de maquinaria de movimiento de tierras de gran tonelaje por su superficie en estado fresco. Respecto al conglomerante utilizado, hay una mayor sustitución de clinker por adiciones de material puzolánico (cenizas volantes y escoria siderúrgica principalmente) en los hormigones compactados; como orientación, en el hormigón convencional la sustitución es de un 30-40%, mientras que en los HCR del 35 al 70% son cenizas volantes.

Presas de materiales sueltos

En esta denominación se incluyen todas las que se construyen con elementos naturales muy variados (tierras, gravas, arenas, escollera, etc.) con nula o limitada cohesión y, en todo caso, muy inferior a la conseguida artificialmente al añadir un aglomerante a esos materiales. Los materiales de estas presas se emplean casi tal y como se encuentran en la naturaleza, sin más elaboración artificial que una elemental clasificación y un apisonado. Esta simplicidad de empleo, junto con la actual disponibilidad de potentes medios de transporte y compactación, hacen que resulten en principio más económicas que las de hormigón; como además son más adaptables a todo tipo de terrenos, incluidos los de baja consistencia, no es de extrañar que más del 80% de las presas en el mundo sean de materiales sueltos.

Aunque parece un tanto simplista englobar en una misma denominación genérica a presas con materiales tan diferentes como escollera o arcilla, no es así, pues el hecho de su nula o baja cohesión les da un planteamiento común. Por otra parte, estas presas casi siempre constan de varios materiales distintos, cada uno con una misión, por lo que sus problemas mecánicos e hidráulicos son comunes, aunque varíe la importancia relativa de unos materiales respecto a otros.

Estas presas tienen una limitación en su cometido hidráulico: el vertido del agua sobre ellas llevaría al arrastre y erosión de los materiales, indefensos por su falta de cohesión. Por ello, los caudales excedentes se vierten por un órgano aparte (aliviaderos); y sólo muy excepcionalmente, por ahora, se acepta el vertido sobre la misma presa, con limitaciones y con obras protectoras adecuadas, aunque es un asunto en fase de ensayo y en plena evolución.

La clasificación tipológica puede hacerse según dos conceptos principales: el material constituyente y el elemento impermeabilizador. A pesar de que éste es minoritario en volumen, es el más significativo desde el punto de vista estructural y funcional, pues rige el comportamiento de la presa frente al agua, mientras que el resto sólo actúa como masa pesante. Son en realidad más diferentes dos presas de escollera, una con pantalla de hormigón y otra con núcleo arcilloso, que una de tierra y otra de escollera, ambas con núcleo arcilloso. A pesar de ello, es frecuente definir la presa por el material predominante (más del 50% del total): de escollera (bloques y gravas) o tierra (gravas, arenas o elementos más finos).

En las de hormigón, la impermeabilidad (mejor dicho, una muy baja permeabilidad) está asegurada con una aceptable ejecución, gracias al cemento. Pero la mayor parte de los materiales naturales son permeables y precisan otro elemento impermeabilizador complementario. En la mayoría de las presas éste es también natural (arcilla, limo), pero cuando no se encuentra en el entorno de la presa o no con el volumen necesario, hay que recurrir a un material artificial: hormigón, betún, plástico o acero (los dos últimos muy excepcionalmente por el momento). Su uso es una contradicción aparente a la filosofía básica de estas presas (empleo de materiales naturales), pero forzado por la falta del material adecuado en el entorno, que es otro principio básico.

La situación del material impermeable en la presa da otra variedad tipológica: en su interior y en la parte central (núcleo de tierras o diafragma de hormigón), cercano al paramento mojado (núcleo inclinado) o exterior, apoyado en ese paramento (pantalla bituminosa o de hormigón).

En algunos casos el terreno adyacente suministra materiales de suficiente impermeabilidad para poder hacer toda la presa con ellos. La presa será impermeable por sí misma y, como las de hormigón, no tendrá diferenciados los elementos impermeables de los pesantes y resistentes. Estas presas se llaman homogéneas, son minoría y, salvo excepciones, de altura moderada.

Por último, hay que citar un tipo especial: las presas vertientes, que por el momento son excepcionales y para caudales limitados en las presas de servicio continuado, pero habitual en las presas provisionales como las ataguías.

2. Construcción de presas

Genéricamente cabe distinguir las siguientes actividades principales en la construcción de una presa:

- **Obras previas:** accesos generales, poblados, líneas de suministro eléctrico, etc. Consisten en dejar preparada la infraestructura para realizar el resto de la obra.
- **Desvío del río,** con el objeto de dejar en seco el cauce para poder realizar la cimentación, primero, y luego el resto de la obra en las debidas condiciones. Las obras de desvío pueden ser de gran envergadura en grandes ríos y, al estar condicionadas por la variación estacional de los caudales, pueden influir en el plazo de la obra total, e incluso a veces en su tipo. En general constan de una ataguía, el desvío del agua propiamente dicho y la contraataguía.
- **Excavaciones y cimientos.** Las excavaciones son una parte muy importante, no solo por su volumen, sino porque hasta que no están terminadas no se conoce del todo el estado real del cimiento, ya que los sondeos informan de forma puntual, y entre esas prospecciones puede haber discontinuidades importantes.
- **Montaje de las instalaciones,** es una operación simultánea con otras, en general con las excavaciones, aunque algunas menores son necesarias antes y se hacen con las obras previas o con el desvío del río.
- **Realización del cuerpo de la presa y de sus obras complementarias** (desagües, aliviadero, central eléctrica, etc.), que plantea el problema fundamental de organizar la construcción con óptimo rendimiento en un plazo adecuado. Los problemas a resolver varían con el tipo de presa y según los materiales constitutivos (hormigón o materiales sueltos), empleándose cazos, cintas, blondines (o andariveles), grúas, dumpers, traíllas, compactadores, etc.
- **Cierre del desvío del río.** Alcanzada una cierta altura en la presa hay que proceder a anular el desvío del río para reintegrarlo a su cauce y comenzar su embalse parcial, adelantando si es posible su explotación.
- **Remates:** desmontaje de instalaciones, coronación de la presa, iluminación, acondicionamiento del paisaje, caminos, adaptación de edificios a su nuevo uso, demolición de obras inútiles antiestéticas, etc.

3. Órganos de desagüe de la presa

Tomas, son los órganos de desagüe voluntarios para controlar la utilización del agua embalsada, puede haber una para cada uso del agua (**abastecimiento, riego, hidroeléctrico**) o comunes para varios, que luego se bifurcan en otro lugar. Los caudales derivados por las tomas son los normales, próximos al medio anual o un múltiplo moderado de él (toma de abastecimiento caudal cercano al medio porque requiere continuidad, toma de riego caudal doble o triple del medio porque se concentra en pocos meses, toma hidroeléctrica con caudal triple a séxtuple del medio en 8 a 4 horas de punta diaria).

Aliviaderos, son los órganos para evacuar caudales sobrantes de las avenidas, pueden ser **aliviaderos de superficie** o aliviaderos; aliviaderos o **desagües intermedios**, de medio fondo o profundos; y **desagües de fondo**. Los primeros suelen ser los aliviaderos para evacuación de avenidas, aunque se acusa una tendencia cada vez mayor a usar para ello los profundos o incluso los de fondo, aunque éstos suelen ser más usados para controlar el nivel del embalse, vaciarlo total o parcialmente, incluso por debajo de las tomas de explotación, descargar sedimentos acumulados en el fondo, etc. Los caudales máximos de los desagües profundos (de fondo e intermedios) suelen ser del orden de 5 a 15 veces el caudal medio (mínimo 3 veces según la Instrucción de grandes presas de 1967), mientras que en los de superficie son muy grandes (25 a 50 veces el medio, o más).

Los elementos parciales de los aliviaderos son: **embocadura** o toma de agua (con las dimensiones adecuadas para derivar el caudal de proyecto, puede ser con vertedero de labio fijo o con compuertas), **conducción** o rápida (cumple la función de transporte desde la embocadura a la obra de restitución al río, puede ser en lámina libre o en presión), y **obra de restitución** (cuya misión es devolver al río el caudal derivado de tal manera que no produzca erosiones perjudiciales al cauce, a la obra de restitución o a la presa, pueden ser con trampolín lanzador o con cuenco amortiguador).

MEA1T25. Seguridad de presas

1. Normativa de seguridad de presas, embalses y balsas

La normativa sobre seguridad de presas, embalses y balsas está recogida en:

- La Directriz básica de planificación de protección civil ante el riesgo de inundaciones de 1994, que está incorporada en los aspectos relativos a la seguridad de presas en los reglamentos posteriores.
- El Reglamento de DPH, que en su modificación de 2008 incluye un título de la seguridad de presas, embalses y balsas.
- El RD 264/2021, por el que se aprueban las normas técnicas de seguridad para las presas y embalses (NTSPE), que incluye 3 Normas Técnicas de Seguridad dedicadas a: la clasificación de las presas y para la elaboración de los planes de emergencia de presas y embalses; el proyecto, construcción y puesta en carga de presas y llenado de embalses; y para la explotación, revisiones de seguridad y puesta fuera de servicio de presas. Están pendientes de aprobación las 3 Normas Técnicas de Seguridad referentes a las balsas.

La Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de grandes presas de 1967 (actualmente derogada) y el Servicio de Vigilancia de presas (creado en 1959 a raíz de la rotura de la presa de Vega de Tera que arrasó el pueblo de Ribadelago en Zamora), han marcado los criterios de seguridad de las presas españolas durante los años en los que se han construido más presas.

El siguiente paso relevante en el avance de la normativa de Seguridad de Presas, que incide muy directamente en la Explotación, lo constituye la aprobación de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones. Esta norma, de aplicación a todo el territorio nacional, incluye un apartado correspondiente a presas, que introduce la consideración del riesgo potencial aguas abajo y la obligatoriedad de redactar planes de emergencia de presas.

El RDPH establece como ámbito de aplicación las presas, embalses y balsas de aguas situadas en todo el territorio nacional, independientemente de quien sea su titular, no incluyendo ni los depósitos de agua, ni las balsas que almacenan estériles mineros y residuos, que se rigen por su legislación específica en materia de seguridad minera.

Los titulares de presas y balsas de altura superior a 5 m o de capacidad de embalse mayor de 100.000 m³, de titularidad privada o pública, existentes, en construcción o que se vayan a construir, estarán obligados a solicitar su clasificación y registro. La resolución de clasificación deberá dictarse en el plazo máximo de un año.

La AGE es competente en materia de seguridad de presas, embalses y balsas cuando están situadas en DPH de demarcaciones hidrográficas intercomunitarias o son de interés general del Estado, y las Comunidades Autónomas cuando se sitúen en DPH de cuencas intracomunitarias y en todo caso cuando se sitúen fuera del DPH (balsas).

El nuevo sistema de seguridad descansa sobre dos pilares fundamentales:

- Obligaciones del titular de la presa, inscripción de la presa en el registro, designación de equipo técnico garante de la seguridad, acreditación de solvencia económica suficiente para hacer frente a las exigencias de seguridad, y la cobertura de los riesgos que la construcción y explotación implican.
- Control de la seguridad por parte de la administración competente, se regula el Registro de Seguridad de Presas y Embalses en el que se inscribirán para cada presa todas las actuaciones administrativas que se produzcan y en particular la declaración acreditativa del cumplimiento de las exigencias derivadas del control de la seguridad que permitirá tener constancia del cumplimiento de la normativa de seguridad. Cada una de las administraciones públicas competentes en materia de seguridad de presas y embalses remitirá anualmente al MITECO los datos de sus correspondientes registros para la elaboración y mantenimiento de un Registro Nacional de Seguridad de Presas y Embalses.

Todas las presas de categoría A y B están sujetas a la normativa de seguridad independientemente de su tamaño, así como las clasificadas como gran presa.

2. Gestión de seguridad de las presas. Inventario de presas y embalses

La normativa vigente establece la necesidad de elaborar una serie de documentos que constituyen los instrumentos de gestión de la explotación y de la seguridad de las presas, y que debe realizar el titular de la presa:

- Clasificación en función del riesgo potencial.
- Normas de explotación de la presa.
- Plan de Emergencia de la presa.
- Revisiones de seguridad de la presa.
- Informes anuales de auscultación.

Se han redactado unas guías para facilitar el trabajo de los técnicos involucrados en la construcción y explotación, y de la Administración en su labor de análisis y aprobación.

La gestión de la seguridad de las presas es el conjunto de actuaciones que debe realizar el MITECO (a través de la DGA) o la administración hidráulica competente de la Comunidad Autónoma correspondiente (en cuencas intracomunitarias) para controlar el cumplimiento de los requisitos de seguridad exigidos por la normativa:

- Aprobar la clasificación de la presa.
- Informar los proyectos.
- Inspeccionar la construcción.
- Aprobar las normas de explotación y los planes de emergencia.
- Evaluar el contenido de las revisiones e informes de seguridad.
- Establecer por razones de seguridad condicionantes a la explotación ordinaria y ordenar vaciados parciales o totales.
- Velar por el cumplimiento de las obligaciones de seguridad del titular.
- Mantener actualizado el Registro de Seguridad de Presas y Embalses.

El inventario de presas es un instrumento de gestión eficaz que recoge información de toda España sobre las características de las presas, de la cuenca y del embalse. En el año 2006 se incluían en el inventario 1.188 presas en explotación y 38 en construcción. Le corresponde a la Dirección General del Agua actualizar el inventario.

En 2002 se puso en marcha en la DGA la base de datos GISPE (Gestión de Información de Seguridad de Presas y Embalses) que incluye la Ficha Técnica, referencias relativas a la existencia de ciertos documentos de la presa (cajas rojas, documentos generados por el área de Vigilancia de Presas, informes XYZT, informes anuales de auscultación, clasificación en función del riesgo potencial, normas de explotación, revisiones de seguridad y planes de emergencia), cartografía general y de detalle, fotografías actualizadas, control de la tramitación administrativa de ciertos documentos.

3. Planes de emergencia y revisiones de seguridad de las presas

Planes de emergencia. Sus características principales son:

- Los criterios para su elaboración vienen recogidos en la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el riesgo de inundaciones.
- Deben tenerlos todas las presas de categoría A o B.
- Su elaboración es responsabilidad del titular de la presa junto con la implantación, mantenimiento y actualización.
- Son aprobados por la DGA, previo informe del Consejo Nacional de Protección Civil, u órganos equivalentes en CCAA si ejercen competencias sobre el DPH para presas ubicadas en cuencas intracomunitarias.
- Se remitirá copia del Plan de Emergencia y de su aprobación a los órganos de Protección Civil de las CCAA que puedan verse afectadas por la rotura de la presa y a la Dirección General de Protección Civil. Estos darán información detallada y un ejemplar a los municipios que puedan verse afectados por la onda de rotura antes de 2 horas.

El contenido básico es el siguiente:

- Análisis de seguridad estableciendo umbrales de peligro, estudio de fenómenos que puedan afectar a la seguridad como comportamiento anormal de la presa, detectado por las inspecciones o auscultación, avenidas extremas o mal funcionamiento de los órganos de desagüe, efectos sísmicos, deslizamientos de laderas del embalse o avalanchas de rocas, nieve o hielo.
- Zonificación territorial y análisis de los riesgos generados por la rotura de la presa, delimitación de las áreas que puedan verse afectadas y estimación de los daños que se podrían ocasionar.
- Normas de actuación, situaciones en las que habrá de intensificarse la vigilancia de la presa y objetivos de esa vigilancia, medidas a adoptar para la reducción del riesgo, procedimientos de información con los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia.
- Organización de los recursos humanos y materiales necesarios para la puesta en práctica de las actuaciones previstas, la dirección del Plan recae sobre la persona que dirija la Explotación de la presa y sus funciones básicas serán:
 - Intensificar la vigilancia de la presa en caso de acontecimiento extraordinario.
 - Disponer la ejecución de la gestión de emergencia.
 - Mantener permanentemente informados a los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia.
 - Dar la alarma en caso de peligro inminente de rotura o si se ha producido.
- Medios y recursos materiales, el plan recogerá los medios y recursos con los que cuenta para su puesta en práctica, sala de emergencia próxima a la presa para servir de puesto de mando al director del Plan y asegurar las comunicaciones con los organismos públicos implicados en la gestión de la emergencia, sistemas de aviso rápido a la población de la zona inundable antes de 30 minutos.

Revisiones de seguridad. Las NTSPE establecen la necesidad de realizar una inspección detallada para evaluar la seguridad de las presas, con una periodicidad no superior a 5 años en las de categoría A, no superior a 10 años en las de categorías B, y no superior a 15 años en las grandes presas de categoría C, y siempre después de situaciones extraordinarias (grandes avenidas o seísmos). El titular de la presa debe redactar un documento donde se recojan las observaciones realizadas y se propongan las acciones necesarias para mantener el nivel de seguridad de la presa, que es objeto de aprobación por la DGA en las presas estatales.

MEA1T26. Biodiversidad y conservación de ecosistemas fluviales

1. Biodiversidad, conservación y restauración de ecosistemas fluviales y acuáticos. Indicadores

Según el Convenio de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, la biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de todas las clases, incluida la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los ecosistemas. Además de su valor intrínseco, la biodiversidad está estrechamente ligada a la salud y el bienestar de las personas y constituye una de las bases del desarrollo social y económico, siendo un elemento clave para el desarrollo sostenible.

España cuenta con una gran diversidad de ecosistemas asociados a ríos y humedales, que tienen importantes valores ambientales y proporcionan múltiples servicios, puesto que son refugios y corredores para la biodiversidad, depuran el agua, regulan el clima y los ciclos hidrológicos, y atesoran valores estéticos, culturales y paisajísticos.

Las principales amenazas de la diversidad biológica en ríos son: el deterioro ambiental de las cuencas, la sobreexplotación del agua, la ocupación de las llanuras de inundación, la extracción de áridos, la contaminación por vertidos, los dragados y encauzamientos, las especies exóticas invasoras, las infraestructuras ubicadas en los cauces, las obras hidráulicas de regulación, el inadecuado mantenimiento de la dinámica fluvial, y un régimen de caudales insuficiente.

Estos factores provocan importantes alteraciones sobre los ecosistemas acuáticos por cambios en los regímenes naturales, en la morfología del cauce, en la dinámica sedimentaria, en los parámetros físico-químicos del agua, o por la degradación de su vegetación de ribera.

Los bosques de ribera tienen un papel fundamental en la regulación hidrológica, ya que frenan la violencia de las crecidas, estabilizan los márgenes del río, evitan la erosión y el arrastre de materiales, favorecen la sedimentación del río y con ello la creación de suelos fértiles, y contribuyen a evitar o paliar inundaciones porque permite que los suelos mantengan su permeabilidad y capacidad de desagüe. Además, esta vegetación actúa como filtro verde para las sustancias contaminantes, como los fertilizantes, que pueden ser arrastradas hasta los cauces, reduciendo así de forma considerable el riesgo de contaminación de las aguas.

De igual forma, un bosque de ribera con una buena estructura y composición vegetal es vital para la conservación y restauración del propio ecosistema acuático, ya que la protección que la cubierta vegetal proporciona al río supone una regulación de la temperatura del agua y de la cantidad de luz que llega a la superficie, factores que influyen directamente en el desarrollo de los diferentes organismos acuáticos y en el correcto funcionamiento del ecosistema. Asimismo, la vegetación crea refugios para los organismos tanto del medio acuático como del terrestre, y fomenta la diversidad de microhábitats, incrementando así la productividad y la capacidad de carga del ecosistema. La vegetación riparia proporciona a su vez corredores ecológicos muy valiosos para la fauna terrestre.

Una adecuada planificación del espacio fluvial adaptando los usos a las características de los regímenes fluviales permite una mejor conservación y restauración de los ecosistemas fluviales y su biodiversidad asociada. La delimitación y protección de dominio público hidráulico es un instrumento fundamental para conseguir este objetivo.

En cuanto a los indicadores, se distingue la riqueza (nº de especies y hábitats) de la abundancia relativa (de cada uno respecto a los demás). El índice de Simpson es uno de los índices de diversidad más utilizados, que permite estudiar la diversidad a 3 escalas diferentes: nivel alfa (riqueza de una comunidad local), nivel beta (diversidad de hábitats) y nivel gamma (riqueza de una región o continente).

2. Caudales ecológicos

El Reglamento de la Planificación Hidrológica define el caudal ecológico como aquel que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.

Los caudales ecológicos no son una demanda de uso, sino una restricción a otros usos, y se fijarán en los planes hidrológicos de cuenca según estudios específicos para cada tramo de río.

La Instrucción de Planificación Hidrológica indica que el régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición.

Además, establece la necesidad de que los caudales ecológicos que afecten a la Red Natura 2000 y a la Lista de Humedales de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar sean los apropiados para mantener o restablecer un estado de conservación favorable de los hábitats o especies, respondiendo a sus exigencias ecológicas y manteniendo a largo plazo las funciones ecológicas de las que dependen.

Un caudal puede ser considerado ecológico siempre que mantenga el ecosistema fluvial en las mismas condiciones que las naturales. Se mueve entre unos valores máximos y mínimos que interesa conocer para planificar los desembalses o para saber el volumen de agua que se puede destinar a los diferentes usos. En la práctica no es sencillo determinar las condiciones naturales de un río, ya que no existen ríos que no se hayan visto afectados por la actividad humana, pero al menos existen tramos de río que se encuentran bien conservados y que pueden servir como referencia.

Por otra parte, para determinar los caudales máximos que se pueden extraer del río es muy útil analizar los datos históricos sobre los estiajes que han ocurrido de forma natural.

3. Eutrofización de las masas de agua

Causas. La contaminación difusa procedente de la agricultura por la creciente aplicación de fertilizantes y plaguicidas puede provocar graves problemas de eutrofización en los embalses y aguas subterráneas, en los últimos años más de la mitad ha aumentado su grado de eutrofización.

La eutrofización es un proceso de fertilización de las aguas naturales con sustancias nutritivas, especialmente nitrógeno y fósforo, que origina un aumento de la población de algas y un empeoramiento de las condiciones físico-químicas del agua.

Se distinguen dos tipos de eutrofización:

- Eutrofización natural, proceso irreversible asociado al envejecimiento del lago o embalse que se desarrolla muy lentamente, p.e. por descomposición de la vegetación o los organismos muertos.
- Eutrofización antrópica, por acción del hombre y más rápida, que se pueden invertir al cesar la causa que la origina que es siempre la aportación de sustancias nutritivas procedentes de vertidos de aguas residuales urbanas e industriales, escorrentías sobre diversos terrenos, vertidos de granjas, etc.

Para determinar el grado de eutrofización del agua se utilizan los siguientes parámetros de calidad:

- La penetración de la luz, o la turbidez, a través del disco de Secchi, que consiste en medir la profundidad hasta la que se divisa, desde la superficie del agua, un disco normalizado que se hace descender en la masa de agua.
- La concentración de fósforo.
- La concentración de nitrógeno.
- La concentración de clorofila.

Clasificación de los embalses. Se pueden clasificar según su grado de eutrofización en:

- Embalses eutróficos, gran concentración de nutrientes y elevada productividad primaria, en general poco profundos, turbios en verano por el fitoplancton, con poco oxígeno disuelto en el fondo con tendencia a la anoxia durante la estratificación.
- Embalses mesotróficos, entre los eutróficos y los oligotróficos.
- Embalses oligotróficos, contenido bajo en nutrientes, poco productivos, transparentes, profundos y con una elevada concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion, que es la capa de agua profunda.
- De acuerdo con los criterios de la OCDE se pueden considerar dos nuevas categorías: hipereutrófico y ultraoligotrófico.

En España presentan peor estado los del Tajo, cuencas internas de Cataluña, Galicia-Costa y Duero. Casi la mitad de los embalses españoles presentan un avanzado estado de eutrofización. En general los embalses más eutróficos están en los tramos bajos de los ríos, tras su paso por grandes áreas urbanas o zonas con agricultura importante, y los oligotróficos están en la cabecera de los ríos, en zonas despobladas.

Efectos. El enriquecimiento en nutrientes provoca en la superficie del embalse un incremento del fitoplancton que produce gran cantidad de oxígeno y de materia orgánica por efecto de la fotosíntesis, mientras que en el fondo se produce, durante el periodo de estratificación en verano, un agotamiento del oxígeno disuelto por la respiración de los organismos y la mineralización de la materia orgánica de las capas superiores que se va al fondo.

El proceso de eutrofización supone un aumento de la biomasa con pérdida de la biodiversidad, disminuye también la transparencia del agua y su color azulado natural, se modifican las características organolépticas del agua (color, olor, sabor), empeorando la calidad para muchos usos.

Conforme avanza el proceso de eutrofización, al principio estos síntomas simplemente se hacen más acusados; posteriormente, sin embargo, aparecen alteraciones y procesos catastróficos, acarreando una vegetación planctónica exuberante ("blooms" de algas), una invasión masiva de Cianofíceas, el agotamiento total de las reservas de oxígeno en el hipolimnion durante los meses de verano, y la acumulación de cantidades considerables de nutrientes, con aparición de ácido sulfhídrico e iones de amonio, hierro, y manganeso, concentración y sedimentación de sustancias orgánicas no mineralizadas, formación de gas metano, etc.; y como resultado de estas alteraciones ambientales, desaparición de la fauna que habita las regiones más profundas y de las especies más nobles de peces.

Medidas contra la eutrofización. Disminuir nitratos y fosfatos en los vertidos (tratarlos previamente), limitación del empleo de fertilizantes en agricultura (con impuestos penalizantes, subvenciones a otros métodos, prohibición en ciertas épocas del año), procurar tener las tierras de cultivo cubiertas con vegetación durante el invierno para reducir la erosión.

4. Infraestructuras verdes y soluciones basadas en la naturaleza en el medio hídrico

La Comisión Europea define las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) como aquellas inspiradas en la naturaleza, que proporcionan beneficios ambientales, sociales y económicos, y ayudan a aumentar la resiliencia.

Las SbN para la gestión del agua permiten mejorar el uso de los recursos hídricos, tanto en aspectos de calidad como de cantidad (especialmente relacionadas con problemas de sequías e inundaciones). Se trata de medidas tales como: protección estratégica de terrenos (incluyendo compra de tierras), revegetación (incluyendo reforestación y conversión forestal), restauración de riberas (incluyendo corredores de ribera), eliminación de especies invasoras, recarga natural de acuíferos, reconexión de ríos y llanuras de inundación, desviación de inundaciones, restauración-recuperación de humedales, construcción de humedales artificiales, espacios verdes (para aumentar bio-retención e infiltración), pavimentos permeables, prácticas agrícolas sostenibles (cambios y rotación de cultivos, uso reducido de fertilizantes, cambios en los métodos de control de plagas), prácticas adecuadas de gestión forestal (incluyendo reducción de combustibles de origen forestal), y prácticas de ganadería y pastoreo apropiadas.

MEA1T27. Canales y conducciones en carga

1. Canales y conducciones en carga

Canales, obras lineales para conducir el agua con gran flexibilidad en planta y rigidez total en alzado con muy poca pendiente descendente que se mide en diezmilésimas, y con el agua circulando en lámina libre.

Conducciones en carga, el agua circula con energía en forma de presión por necesidades de transporte (hay que salvar desniveles ascendentes) o de uso (riego por aspersión p.e.). Son más delicadas porque la presión supone un estado tensional más importante y mayores posibilidades de fugas, pero facilitan su trazado haciéndolo completamente flexible.

2. Revestimientos, juntas y obras singulares

Revestimientos en canales. El material de revestimiento debe ser liso, impermeable y resistente a la erosión del agua.

- El hormigón cumple perfectamente esas condiciones y es el más usado. Se conserva bien con funcionamiento continuo (o casi) para velocidades de 3-4 m/s, y también en aliviaderos de presas donde la velocidad puede llegar hasta 20 m/s, pero esporádicamente, lo que impide su deterioro y si llega a producirse se puede reparar.
- El acero cumple muy bien todas las condiciones, pero resulta muy caro, permite alcanzar velocidades en el agua de 7-8 m/s.
- La arcilla, es muy impermeable y lisa, pero muy poco resistente en taludes, que deben ser más tendidos que 3H:1V y a la erosión ($v=0,5$ m/s).
- El revestimiento bituminoso es flexible, impermeable y suficientemente resistente a la velocidad del agua.

Revestimientos en tuberías (tipos de tuberías):

- Tuberías de plástico (PVC y polietileno), paredes muy lisas y se trabajan muy bien, ideales para diámetros pequeños.
- Tuberías de fibrocemento, se usaban para abastecimiento y saneamiento, desde 2005 una directiva de la UE ha prohibido su uso.
- Tuberías de acero, para grandes presiones, caras y pueden sufrir oxidación.
- Tuberías de fundición, resistentes, estancas, buenas características hidráulicas y durabilidad.
- Tuberías de hormigón, se utiliza hormigón en masa con o sin camisa de chapa y hormigón armado, con diversos sistemas de fabricación: vibrocompresión, compresión radial, centrifugación, vertido en moldes verticales y vibración, y precompresión.
- Tuberías de gres para saneamiento, son lisas, impermeables y poco atacables por los ácidos, por lo que resultan muy apropiadas para el sistema separativo.

Juntas en canales:

- En los revestidos de hormigón se disponen juntas de contracción, dilatación o construcción para permitir la retracción del fraguado, las dilataciones y las contracciones térmicas, y permitir asentos sin agrietamiento del hormigón.
- Pueden ser transversales, que se disponen siempre, y longitudinales, que pueden ser aconsejables en los cajeros de canales grandes para absorber deformaciones del terreno.
- Se usan materiales de relleno en la parte inferior de la junta que sirven de soporte compresible al material de sellado que rellena la parte de la junta en contacto con el agua y que evitan que en la junta penetren materiales extraños que coarten las libres deformaciones.
- Para los materiales de relleno se utilizan caucho o materiales bituminosos y para los materiales de sellado, éstos deben tener buena adherencia al hormigón, suficientemente plásticos, impermeables y de envejecimiento lento (asfaltos, cauchos, neopreno).

Juntas en tuberías:

- Para elegir la junta se tendrán en cuenta las sollicitaciones, los posibles movimientos, la agresividad de agentes sobre ella y su facilidad de montaje y desmontaje.
- Los tipos más usuales son:
 - La junta a base de bridas interponiendo entre dos coronas una arandela de plomo o goma con alambre que se comprime con tornillos pasantes.
 - La junta de enchufe y campana con material de relleno de tipo asfáltico en frío o en caliente mirando hacia aguas arriba cuando sea posible.
 - Las uniones soldadas a tope en tuberías de acero.
 - La unión mediante solape con adhesivos en tubos de plástico.
- Con carácter general se puede distinguir entre juntas flexibles y rígidas, si permiten o no movimientos, si no es posible asegurar la indeformabilidad de la junta son preferibles las primeras.

Obras singulares (en regadíos):

- Destinadas a mantener en los canales la pendiente y velocidad adecuadas, permiten concentrar pérdidas importantes de nivel en los puntos en los que ya no es necesaria la cota: caídas (<4 m) y rápidas (>4m).
- Facilitan medida y reparto del agua: aforadores (miden caudal que pasa por el canal), partidores (dividen el caudal según una relación determinada en 2 o más partes de manera fija o móvil), módulos (para mantener un caudal constante en las derivaciones, aunque varíe el calado del canal).
- Otros tipos son: toma de acequias mediante compuertas manuales, almenaras (obras para desaguar acequias), aliviaderos de seguridad (para evitar que un caudal excesivo acceda a ciertos elementos).

3. Redes de distribución de agua potable

El suministro del agua desde los depósitos hasta los puntos de consumo en la ciudad se efectúa por medio de una red de distribución cuyo fin es garantizar que a todos los puntos llega el caudal preciso, con la calidad adecuada y la presión requerida, por tanto, debe asegurar un servicio continuo, evitando cualquier posible contaminación con conductos impermeables y resistentes a las acciones interiores y exteriores, y ser lisos para evitar pérdidas de carga significativas.

Los sistemas de redes de distribución pueden ser ramificados (sistema de tuberías que se van dividiendo sucesivamente como los nervios de una hoja), reticulares (se puede llegar a un mismo punto por varios caminos, ventaja para aislamiento y reparación de tramos averiados) o circulares (radial con arteria periférica de socorro en caso de averías).

Los accesorios principales en las redes de distribución son: válvulas (de compuerta o mariposa, para aislar tramos por mantenimiento y explotación); ventosas (en puntos altos para eliminar gases); desagües (en puntos bajos del perfil general o de tramos que se pueden aislar, para su vaciado); medidores de presión y caudal (para explotar adecuadamente con los datos precisos). Todos ellos deben estar situados en arquetas de registro que permitan realizar su mantenimiento.

4. Redes de saneamiento

Reciben el agua residual a través de las acometidas y las aportaciones de escorrentía superficial mediante los sumideros y la conducen por la red de colectores hasta las depuradoras. Las acometidas están constituidas por el sifón, las bajantes, los sistemas de ventilación y la arqueta final de recogida para conexión a la red.

Las aguas residuales se pueden clasificar en aguas blancas que proceden de la escorrentía y aguas negras que proceden de los usos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas. Según tengan red única para ambos tipos de agua o redes separadas se denominan sistemas unitarios o separativos. También se pueden clasificar en sistemas de evacuación por simple gravedad, gravedad con elevaciones y circulación forzada.

5. Emisarios submarinos

El vertido de aguas residuales en el mar tiene como objetivo diluirlas hasta conseguir que la mezcla sea inocua para la salud humana y las formas de vida en el mar, a la vez que conservar el buen aspecto de las aguas y del entorno marítimo-terrestre del litoral. La dilución total se mide apreciando la diferencia del indicador elegido entre el punto de vertido y el punto a proteger y es consecuencia de 3 factores: dilución primaria, la alcanzada en la zona de emergencia de la mezcla de aguas residuales-mar; dilución secundaria, refleja la suplementaria debida a la turbulencia superficial por la acción del viento y la extensión de la capa de emergencia del penacho junto con la disminución de su espesor; y dilución terciaria, que es función del tiempo que transcurre entre que la mezcla emerge y llega a la costa y está ligada a la hostilidad del medio marino respecto a la vida bacteriana. La concentración en escherichia coli marca la dilución total a alcanzar.

6. Depósitos. Construcción, explotación y conservación

Depósito, estructura apta para contener un cierto volumen de agua con las instalaciones complementarias precisas para cumplir funciones de regulación de caudales, de carga o ambas, y de seguridad en el servicio. Por tanto, compensa en el tiempo aportaciones y consumos, garantiza la presión mínima en cada punto de la red, y contempla volúmenes de reserva ante emergencias como averías en la aportación o incendios.

Construcción. Por su emplazamiento en relación con el terreno los depósitos pueden ser: enterrados, semienterrados, superficiales y elevados, y por el material: fábrica de ladrillo, hormigón en masa, armado, pretensado, acero o plástico.

Explotación. Se tendrá en cuenta en la explotación: la preservación de la calidad del agua porque de ahí va directamente al consumo, evitando cualquier tipo de contaminación y cualquier cambio en la calidad del agua por modificación de temperatura, aparición y desarrollo de microorganismos, o por establecimiento de zonas muertas sin circulación; garantizar los sistemas de llenado y salida del agua y otros de funcionamiento normal del depósito; la protección contra acciones exteriores; y el control de los equipos de funcionamiento del depósito, mediante los equipos adecuados, accesibles, protegidos y fácilmente manejables.

Conservación. Desinfección adecuada después de su construcción o reparación con soluciones concentradas de cloro. Cada año o dos, proceder a la limpieza de los vasos por las incrustaciones en paredes y solera con los productos adecuados para desprenderlas de forma rápida, sin atacar a los materiales que constituyen el depósito ni ser tóxicos.

MEA1T28. Estaciones de bombeo

1. Estaciones de bombeo. Conceptos básicos

Las estaciones de bombeo son lugares donde se instalan máquinas hidromecánicas (bombas) capaces de aumentar la carga hidráulica en una conducción.

Los conceptos básicos utilizados en el diseño y explotación de las bombas son los siguientes:

- Capacidad, volumen bombeado por unidad de tiempo, es decir el caudal.
- Altura, distancia en vertical a la que puede elevar el agua, se mide en m columna de agua. Se distinguen: altura geométrica de la aspiración (diferencia entre el nivel del líquido en la aspiración y el eje del rodete de la bomba), altura geométrica de elevación (diferencia de cotas entre el nivel del líquido en la descarga y el eje del rodete de la bomba), altura geométrica total (diferencia de cotas entre el líquido en la descarga y en la aspiración), altura de velocidad ($v^2/2g$), pérdidas de carga por rozamiento y singulares (altura de carga que debe suministrarse para vencer la fricción del agua a través de las tuberías y en piezas especiales y válvulas), altura manométrica total (aquella que debe salvar la bomba teniendo en cuenta todas las anteriores y que se puede calcular con la ecuación de Bernoulli).
- Rendimiento, cociente entre la potencia útil y la potencia absorbida, suele estar entre el 60 y el 85%.
- Curvas características, relacionan caudal bombeado y altura a la que se bombea, tanto en lo que se refiere a la bomba como a la conducción de la impulsión, la intersección entre ambas se denomina punto de funcionamiento.
- Cavitación, fenómeno caracterizado por la formación de burbujas de vapor, cuando la presión del fluido es inferior a su presión de vapor, que al destruirse por condensación violenta en zonas de mayor presión producen una marcha inestable de la bomba con caída del caudal y de los rendimientos, acompañado de ruido y vibraciones.
- NPSH (Net Positive Suction Head) o Altura neta positiva de aspiración, es la diferencia entre la presión del líquido en el eje del impulsor de la bomba y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, por lo que representa el margen disponible a la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación, siendo una de las características más importantes de una bomba.

2. Tipos de bombas: características, selección, transitorios

Características. Las bombas se clasifican en:

- Bombas de energía cinética o bombas centrífugas, que pueden ser de flujo radial, mixto o axial, las 2 primeras se utilizan para aguas residuales y limpias, la tercera para efluentes tratados y pluviales. Tienen 2 elementos principales: impulsor de álabes llamado rodete y la carcasa que recibe el líquido salido del impulsor y lo expulsa por la tubería de descarga transformando la energía cinética en presión. Son las más usadas. En las bombas centrífugas es recomendable que se realice la puesta en marcha con la válvula de la tubería de impulsión cerrada.
- Bombas de desplazamiento positivo o de tornillo, basado en el principio del tornillo de Arquímedes, son más adecuadas para aguas residuales porque toleran mejor la presencia de sólidos.

Selección. Para realizarla se deben tener en cuenta los caudales de proyecto y su intervalo, la ubicación de la estación de bombeo (características de las aguas a bombear), la altura manométrica, el diseño de la tubería de impulsión, las curvas características que relacionan caudal bombeado y altura de la bomba y de la impulsión, etc.

Transitorios. Un transitorio hidráulico es un régimen de circulación del agua variable en el tiempo que se puede agrupar en dos grandes bloques: oscilaciones en masa y golpe de ariete. Tienen su origen en los arranques de las bombas, en los fallos de suministro de energía eléctrica o en las paradas, y pueden dar lugar a cambios importantes de la presión por variaciones rápidas de la velocidad. La máxima sobrepresión experimentada en un transitorio originado por el cierre instantáneo de una válvula depende del módulo de elasticidad del material y de las dimensiones (espesor y diámetro) de la conducción.

3. Protección y tipos de estaciones

Protección. La protección de las bombas y las tuberías de impulsión frente al golpe de ariete, normalmente empleados son:

- Válvulas de retención en la descarga de las bombas dotadas de contrapeso y manivela para ayudar a la maniobra de cierre, válida para alturas del orden de 15 a 20 m.
- Válvulas de retención de resorte situada en la descarga de las bombas.
- Válvulas de retención de cualquiera de los dos tipos anteriores junto con la válvula reguladora de alta presión.
- Válvulas de purga y admisión de aire (ventosas) situadas en la estación de bombeo y en los puntos altos de la tubería de impulsión para limitar el desarrollo de presiones inferiores a la atmosférica.
- Válvulas de control positivo en la descarga, enclavadas de manera que se abran a una presión determinada durante el arranque y se cierran a velocidad predeterminada después del corte de energía.
- Válvulas de alivio, by-pass de la aspiración, para grandes estaciones de bombeo donde las válvulas de retención no son suficiente. Las válvulas pueden ser de cono, de macho o de mariposa.

- Volantes de inercia acoplados a las bombas, que permiten que el movimiento continúe por inercia cuando cesa el par motor que lo propulsa evitando que la parada sea brusca.
- Chimeneas de equilibrio, que son unas torres piezométricas abiertas a la atmósfera cuya misión es atenuar las oscilaciones de presión.

Tipos de estaciones de bombeo. Las estaciones modernas están completamente automatizadas, con poco personal, incluso las grandes, para tareas de inspección y mantenimiento. Se pueden clasificar según diferentes criterios:

- Por las aguas bombeadas: residuales domésticas, pluviales, residuales de redes de alcantarillado unitario, residuales industriales, fangos producidos en estaciones depuradoras de aguas residuales, efluentes tratados, o redes de agua en plantas de tratamiento.
- Por la fuente de energía: eléctricas o diésel.
- Por el método de bombeo: centrífugas o de desplazamiento positivo.
- Por el emplazamiento de las bombas: de cámara seca o de cámara húmeda.
- Por la posición relativa de las bombas: en serie que permiten aumentar la altura de bombeo o en paralelo que permiten aumentar el caudal bombeado.
- Por la succión: positivas, cuando el nivel del fluido a bombear está por encima de la bomba o negativas cuando está por debajo.

4. Estaciones de sobrepresión

Tienen como finalidad inducir en el sistema de distribución una determinada presión para atender una demanda de caudales para los que la presión general es insuficiente, especialmente a ciertas horas del día. Suelen agrupar todos los componentes en 2 módulos: módulo de bombeo y módulo de acumulación (donde se ubican los depósitos de presión).

5. Elementos constructivos

Los elementos más importantes de las estaciones de bombeo son:

- Cámara de aspiración, almacena el agua antes del bombeo y tiene elementos para impedir que entren tamaños inadmisibles en las bombas, tales como rejillas o dilaceradores para triturar elementos superiores a un cierto tamaño.
- Cámara seca, adyacente a la de aspiración y que alberga las bombas, el conjunto de tuberías de aspiración e impulsión y su valvulería.
- Tuberías de aspiración e impulsión.
- Instrumentación de las estaciones de bombeo, controles automáticos, manuales, alarmas, etc.
- Para las labores de cambio de equipos se dispone de puentes grúa o vigas carril, con dimensiones de entrada y salida suficientes.
- Línea de alimentación eléctrica o depósito de almacenamiento de combustible, según la fuente de energía.

6. Ingeniería de impulsiones: trazado, tipos y cálculo

Tubería de impulsión, va desde la bomba, donde el agua tiene presión máxima, hasta el punto de descarga a la presión atmosférica.

Es parte del sistema de bombeo y su diseño está influido por:

- El número, tamaño y tipo de bombas existentes en la estación de bombeo.
- La capacidad para resistir presiones internas, incluso las temporales debidas al golpe de ariete, y externas.
- Las características del agua a transportar, su caudal, las pérdidas de carga, etc.

Suelen estar enterradas al menos 1 m desde su generatriz superior lo que las protege de las heladas, deben estar ancladas en cambios de dirección y conexiones con ramales, y debe prestarse especial atención a la disposición del extremo de descarga de la tubería de impulsión para minimizar la turbulencia y, en aguas residuales, la liberación de sulfuro de hidrógeno que además de mal olor puede oxidarse a ácido sulfúrico y atacar el hormigón de la obra de fábrica de descarga. Otros elementos a tener en cuenta en el diseño son los pozos de registro, las ventosas y los desagües.

El trazado ideal es horizontal ligeramente ascendente hasta cerca del extremo final donde se elevaría rápidamente hasta el punto de descarga, con el objetivo de evitar la disposición de ventosas y minimizar las pérdidas de carga, aunque esto no suele ser posible y el perfil debe adaptarse al terreno incluyendo puntos altos y bajos.

En cuanto a los tipos, pueden ser tuberías de plástico (PVC y polietileno), de acero, de fundición, de hormigón o de gres.

El cálculo debe tener en cuenta el caudal bombeado, el trazado y el material de la tubería, analizando el funcionamiento hidráulico con la correcta determinación de las pérdidas de carga, y el comportamiento mecánico diseñando la conducción con adecuadas características resistentes y con los anclajes necesarios materializados con macizos de hormigón en los cambios significativos de geometría en planta y alzado.