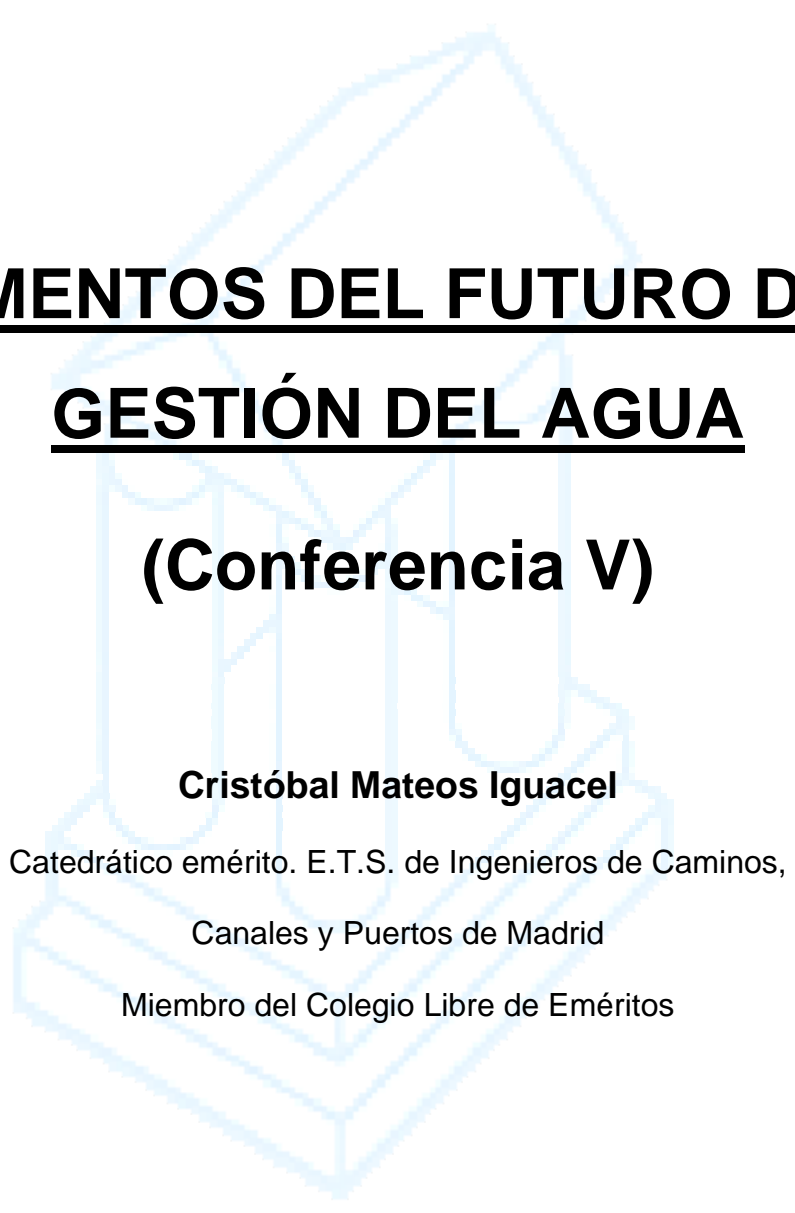




COLEGIO
LIBRE DE
EMÉRITOS

EL AGUA EN ESPAÑA

Director: Cristóbal Mateos



ELEMENTOS DEL FUTURO DE LA **GESTIÓN DEL AGUA** **(Conferencia V)**

Cristóbal Mateos Iguacel

Catedrático emérito. E.T.S. de Ingenieros de Caminos,

Canales y Puertos de Madrid

Miembro del Colegio Libre de Eméritos

RESUMEN

El agua que consumimos y gestionamos proviene de un proceso natural, el ciclo del agua. Para poder anticipar la futura evolución de nuestra intervención en ese ciclo, se comienza por analizarlo para ver qué es en él susceptible de alteración. A continuación se recuerdan los usos del agua y los medios utilizados para ponerla a disposición de esos usos.

En sucesivos apartados se considerarán aspectos parciales de los cambios que van a producirse. Así, en la Seguridad, se evolucionará a: una fuerte reducción de la probabilidad de que se produzcan fallos catastróficos, a una valoración precisa de riesgos y daños esperables, a un incremento de los tiempos de alerta para salvar vidas, a una mejor implementación de medidas preventivas.

En el tema de las posibles alteraciones del ciclo hidrológico se comenta la evolución de algunas posibles causas de cambio. Destacando el incremento de gases de invernadero, su efecto primario que es el incremento de temperaturas y el efecto de éste en el ciclo hidrológico, que es la polarización el clima.

Se muestra que todos los usos del agua van a experimentar demandas crecientes y que además la porción reservada a fines ambientales va a aumentar. Lo que comportará mayores necesidades de almacenamiento y de reutilización del agua.

Por último se hace notar, que para poder satisfacer y conciliar estas demandas crecientes en un entorno más restrictivo de las actuaciones aceptables, habrá que añadir a las actuaciones consagradas otras nuevas, exponiéndose algunas posibilidades.

INTRODUCCIÓN

Al plantearnos cual será a medio plazo, 30 a 50 años, el futuro de la gestión del agua hay que imaginar, con un considerable margen de error, cuáles serán las necesidades, cuáles los medios para satisfacerlas y en qué entorno social y económico se actuará. Vaya por delante que al tratarse de futuribles y para que el análisis no se extravíe en un laberinto de ramificaciones un supuesto central es que se extrapolarán tendencias y no se considerarán unas mutaciones tan fuertes que vayan a alterar lo que se expone. Se actúa así, no por que no vayan a suceder o porque no se puedan concebir, sino porque al no aparecer ni siquiera como tendencia, el incluirlas tendría un sesgo aún mayor. Se parte pues de la evolución de tendencias actuales. Con un objetivo tan amplio puede ser conveniente arrancar de lo más básico para una mejor comprensión de lo que sigue. Se empezará por ello diciendo que el agua es un recurso esencial y renovable. Esto último quiere decir que está a nuestra disposición (y de los otros seres vivos) gracias a un proceso que podemos calificar de regeneración. Este proceso, EL CICLO DEL AGUA, se trata de un proceso termodinámico cuyo motor es la radiación solar. Evitando entrar en algún aspecto marginal se puede empezar por destacar que el agua esta presente en tres posiciones (o si se prefiere en tres almacenamientos): en la atmósfera, en las tierras emergidas y en los océanos. En síntesis los pasos de una a otra situación que marcan las facetas más salientes del ciclo tal y como se suele describir son: lluvia, escorrentía continental e infiltración, evapo-transpiración terrestre, desagüe a las masas marinas y evaporación marina. En los tres almacenamientos temporales del agua, ésta se encuentra en diversas fases: nubes de gotas de agua o nieve y vapor de agua en la atmósfera, agua y nieve o hielo en las zonas terrestres y por último agua y hielo en los mares y océanos. Pero entre estas distintas situaciones del agua hay una diferencia esencial: el agua en estado líquido en los mares es salada con una proporción en promedio de 3,5% en peso de sales, pero variable entre el 4% de los mares Rojo y Negro y el 0,7% del Báltico mientras que en las restantes situaciones el contenido en sales es extremadamente bajo. Pero esta visión del ciclo hidrológico omite aspectos que adquieren importancia a medio y largo plazo. Se trata de que en su paso de una situación a otra el agua no va siempre sola.

Así en la escorrentía superficial (y también en la infiltración) el agua lleva pequeñas cantidades de sales en disolución, así como minerales en suspensión o arrastrados (amén de elementos vivientes y materia orgánica, muchas veces como flotantes). Por su parte en la evaporación, el agua pasa a la atmósfera casi químicamente pura. Pero, otro proceso, la evaporación de pequeñas gotas de agua salada que la agitación marina ha lanzado al aire es una fuente de copos de sal que el viento puede llevar a los continentes, claro que con una mayor concentración en las zonas costeras, como evidencia el olfato. A su vez el hombre con su actividad industrial, aglomeraciones urbanas y drenaje de regadíos altera sensiblemente el contenido en solutos y arrastres que reciben los ríos. Por último, la tectónica puede provocar precipitación de sales en mares salobres y hacer emerger materiales acumulados en el fondo de los mares. Por todo ello hay que advertir que hay en realidad tres ciclos: el del agua propiamente dicha, el de las sales solubles y el de los materiales insolubles. Estos otros dos ciclos afectan por un lado a la calidad del agua, que es tanto como decir a su valor ambiental y a su utilidad, como por otro a la capacidad de almacenamiento en embalses que se ve mermada por los depósitos.

En estos ciclos hay un índice, que será de interés, que es el tiempo medio de residencia o TMR. Este índice valora (en media) el tiempo que transcurre entre que una partícula entra en un depósito y el momento en que sale de él. Así por ejemplo el TMR del agua de escorrentía es de unos pocos días si escasean la nieve y los lagos o embalses. Pero volviendo a cifras globales el TMR del agua en escorrentía es del orden del mes, en infiltración de algunos años y en los océanos de algunos miles de años. Por su parte el TMR de las sales en el océano es de algunas decenas de millones de años, lo que contribuye a explicar la alta diferencia de salinidad entre el agua continental y la marina. Aunque a la hora de cuantificar la disponibilidad de agua en un determinado país el primer dato relevante sea la pluviosidad hay otros tres muy importantes, en primer lugar el TMR, en segundo lugar la regularidad del suministro, o con más precisión, la mejor o peor adaptación de la intensidad de aportación a la intensidad de las demandas, las cuales por lo general y dentro de una cierta fluctuación tienen un ciclo anual, por último es también importante el

desequilibrio territorial entre oferta y demanda. Desde luego si el TMR fuese de varios años casi no habría que hablar de gestión del agua y si en España (a diferencia de otros países europeos) no tuviéramos una pluviosidad tan irregular y tal escasez de lagos naturales la necesidad de embalses y canales se reduciría drásticamente.

Esta irregularidad española se traduce en que, sin mediar una labor de captación para almacenamiento y una extensa red de distribución, el 90% del agua fluyente iría al mar sin poder ser usada. En definitiva la población humana que se asentaría en nuestro país tendría que ser muy inferior a la actual y algo parecido sucedería en mayor o menor grado en casi todos los países. Si bien nuestro caso es más extremo pues para alcanzar un nivel de regulación similar al que los otros países europeos tienen con el régimen natural, hemos tenido que ser el segundo país del mundo en número de presas por habitante. Esto que ha ocasionado algunos perjuicios ambientales, que ciertamente convendrá corregir, también ha tenido ventajas no solo económicas y sanitarias, sino también de creación o refuerzo de otros ecosistemas.

La población actual sigue necesitando alterar, para un mejor aprovechamiento, el ciclo del agua. En España desde el siglo XIX, aunque con un origen muy anterior, cada una de las infraestructuras que posibilitan esa mejor atención a las necesidades se han planteado con una asignación concesional finalista del recurso y con un análisis de costo-beneficio con una mayor o menor inclusión de externalidades. En este análisis suelen entrar en juego fórmulas de amortización de la inversión a veces con un importante apoyo de dinero público justificado en el interés social, sobre todo cuando ésta inversión se dirigía a regadío o abastecimiento de poblaciones. Muy razonablemente para evitar abusos este régimen concesional vetaba la transferencia de lo concedido a usos distintos del originario. Sin embargo con la continua búsqueda de un uso más eficiente del agua se está en una situación en la que posiblemente en el futuro deberá flexibilizarse cada vez más esta cuestión. Pues, si se consigue el producto o efecto buscado con la concesión usando menos agua, autorizar la venta de una fracción de lo ahorrado es un buen incentivo para que el concesionario esté interesado en ser más eficaz.

En general las Obras Públicas pretenden la consecución de ciertos fines y deben de tratar de conseguirlos respetando condicionantes ambientales, sociales y económicos. Pero en el caso del agua y su gestión esto es muy acusado pues: ambientalmente es con el aire y la tierra el recurso esencial, socialmente es un elemento primordial para las necesidades básicas y económicamente por que debe de ser suministrado en condiciones poco onerosas a las capas más bajas de la población. En principio las necesidades tienden a crecer y por ello se trata de disponer de mayores cantidades de agua y de optimizar la capacidad de embalse para atender a funciones y usos muy variados: Ambientales, Agrícolas, Urbanos, Industriales, Prevención de avenidas, Hidroeléctricos, Refrigeración de Centrales Térmicas y Nucleares, Paisajísticos, Deportivos, Recreativos, etc. y posiblemente surjan otros en el futuro. Lógicamente se pretende hacerlo con la mayor coordinación y eficacia y el menor costo posible. El ámbito natural de coordinación de la gestión es la cuenca hidrográfica y así lo reconoce nuestra legislación. Pero dada la variedad de fines a lograr ello comporta un análisis que como queda dicho ha de ser social, ambiental y económico del conjunto de actuaciones. Este análisis es independiente del antes mencionado que correspondía al concesionario, el cual desde un punto de vista fundamentalmente económico ponderaba la viabilidad de la amortización de cada infraestructura. En este segundo análisis, que ha de revisarse con cada nueva actuación, se trata de armonizar no solo la gestión sino también la pervivencia del grupo de infraestructuras en que se integra. En efecto, en abstracto parecería que finalizado el plazo de una concesión y/o el periodo rentable de la misma se terminaría la vida útil de la obra. Pero en el caso de las obras hidráulicas y señaladamente de los embalses esto no es así por varias razones: en primer lugar por que en general operan sobre un recurso indefinidamente renovable, en segundo lugar porque los embalses tienen como se ha señalado múltiples funciones y aunque una necesidad puede decaer (y casi seguro que decaerá a largo plazo) otras cogerán probablemente el relevo, en tercer lugar la demolición de la presa en su totalidad es muy costosa pues las consideraciones de seguridad - de las que luego se hablará - obligan a una considerable robustez y además la demolición comporta previsiblemente ciertos perjuicios ambientales en las gestiones de los materiales usados durante la construcción y de los sedimentos acumulados,

por último si la obra había introducido ciertas mejoras ambientales su eliminación acarrearía una pérdida. En resumen solo si la existencia de una presa supone un perjuicio grave o un peligro que solo se resolvería con su demolición (y no con otra solución más económica) estará justificada su eliminación. Lo que junto con su tamaño y resistencia explica la larga permanencia de las presas, milenios algunas de ellas. En una escala más reducida puede decirse algo parecido de las canalizaciones y conducciones que en muchas ocasiones perduran varios siglos.

La gestión del agua se plantea en un entorno con una considerable estabilidad pero tiene también una gradual evolución. Hay por ello cuatro cuestiones a cuya futura evolución prestaremos nuestra atención:

- A) Cambios en las condiciones o criterios de seguridad.
- B) Alteración natural o inducida del Ciclo Hidrológico.
- C) Cambios en las necesidades y capacidades.
- D) Cambios en la gestión del agua.

1. CAMBIOS EN LAS CONDICIONES O CRITERIOS DE SEGURIDAD

Se ha entendido que procedía hablar antes de la seguridad que de las necesidades, pues si bien toda acción tiene por causa una necesidad, esa acción en el caso de las obras hidráulicas solo podrá emprenderse si hay certidumbre de que tiene en sí misma una seguridad suficiente. Y es por tanto la seguridad un prerequisite necesario para toda acción.

Los daños que potencialmente pueden surgir en una obra hidráulica son importantes y en el caso de una presa son unos de los más extraordinarios entre los que pueden tener su origen en una actividad humana. Es pues natural que se le haya prestado y se le preste una considerable atención. Pero aquí se va a empezar por hacer notar que los criterios de seguridad en las presas (y en las otras obras hidráulicas) tienden necesariamente a evolucionar indefinidamente para conseguir una mayor seguridad pues entre otras cosas

también aumentan paulatinamente los bienes en peligro y por tanto los riesgos potenciales. Esto es así por varias razones:

- En primer lugar por una cuestión general que incide en la seguridad en todos los campos, las vidas y bienes en riesgo tienden con el tiempo a ser más valiosos. Las vidas porque al irse, afortunadamente, haciendo más longeva la población, el número de años de cada vida que pueden perderse en un accidente aumenta con el cuadrado de la longevidad y además la población aumenta con el tiempo. Los bienes porque al aumentar con el tiempo la renta per cápita y la población también aumenta la cantidad y el valor de los bienes expuestos.
- En segundo lugar la experiencia de los sucesivos accidentes, señala peligros que habían pasado desapercibidos o habían sido subestimados y que tras conocerse deberán ser evitados o amortiguados.
- Por último los progresos en: recogida y tratamiento de datos (que hacen posible tener series históricas más amplias y fiables), diseño, maquinaria, equipos y materiales permiten refinar los estándares y criterios de seguridad.

Antes de abordar hacia donde va la seguridad hay que comentar brevemente la situación actual de la seguridad de las presas en España [4]. Hoy hay dos normas en vigor: la Instrucción para el proyecto, construcción, y explotación de grandes presas aprobada por orden de 31 de Marzo de 1967 y el Reglamento Técnico sobre seguridad de presas y embalses aprobado por Orden del 12 de Marzo 1996. Entre ambas normas hay una singular convivencia pues cumpliendo con la primera fueron construidas todas las presas entre 1967 y 1996. La segunda es de aplicación a todas las presas del Estado pasadas y futuras y a las posteriores a 1996 que necesiten una autorización del Estado. Pero para todas las restantes sigue valiendo la Instrucción de 1967.

Las dos normas tienen criterios básicos muy distintos. El Reglamento clasifica las Grandes Presas – sintetizando, presas de más de 15m de altura o más de un millón de m³ de capacidad - por los daños que se podrían originar en caso

de rotura o funcionamiento incorrecto. Considerando tres categorías: “Categoría A” las que pueden afectar gravemente a núcleos urbanos o servicios esenciales o pueden producir daños ambientales o materiales muy importantes. “Categoría B” en caso de poder afectar a un número reducido de viviendas o con riesgo de daños materiales o ambientales. “Categoría C” las restantes. Mientras que la Instrucción no distinguía entre las grandes presas por sus riesgos potenciales y con alguna obligación añadida para las de materiales sueltos imponía a todas ellas las mismas obligaciones.

Una diferencia aún más importante es que el Reglamento señala los temas a los que el proyecto debe prestar atención pero no se dan criterios acerca de cuándo se pueden considerar técnicamente cumplidos los fines señalados. Esto contrasta con la Instrucción ya que en ésta se marcaban obligaciones técnicas en las que se entraba con mucho detalle y cuyo estricto cumplimiento se consideraba suficiente, si bien se abría la posibilidad de que excepcionalmente la Autoridad reforzase o relajase alguna prescripción. Así por ejemplo en el tema esencial del riesgo por avenidas (que históricamente a nivel mundial ha sido la causa del 70% de las roturas de presas) frente a la rotundidad de la Instrucción indicando que la presa debe de poder evacuar de forma ordenada y con precisos márgenes y resguardos “la avenida con periodo de retorno de 500 años” el Reglamento se ciñe a prescribir “el criterio básico para la selección y la determinación de las avenidas de proyecto será el del riesgo potencial asumible”. Debe de reconocerse que por las razones arriba comentadas sobre la evolución con el tiempo del riesgo y de los requisitos de seguridad es muy razonable incorporar la toma en consideración de los efectos de la rotura pues lleva a un estudio más matizado. También hay que asumir que ceñirse a un periodo de retorno de 500 años puede ser insuficiente en algún caso pues los refuerzos de seguridad en márgenes y resguardos previstos en la Instrucción la incrementan mucho en algunas ocasiones y muy poco en otras. Pero dicho esto ha de señalarse que “riesgo potencial asumible” es un concepto impreciso, lo que es poco deseable. La situación se palia en parte por la existencia de Guías Técnicas (elaboradas por expertos independientes, con un cierto apoyo público) que abordan el tema y señalan periodos de retorno lógicamente mayores que los de la

Instrucción, pero estas Guías no pueden sustituir plenamente al sujeto que debe señalar cual es el “riesgo asumible”.

Como el riesgo lo van a padecer unos terceros, debe ser la sociedad la que señale anticipadamente lo que es “asumible” y lo que no. Y esa distinción tendrá que hacerse a través del legislador o de la Administración.

Para poder sugerir hacia adonde puede evolucionar la normativa de seguridad se va a dar un repaso a los principales modos en que, de una forma general y en distintas materias, se abordan los problemas de seguridad. Hay siete criterios principales o más frecuentes:

- 1- Regulación por el mercado. Las ideas subyacentes son que los consumidores rechazarán los productos con una seguridad insuficiente y que el mercado asigna los recursos con máxima eficiencia.
- 2- Costo - Beneficio. Se evalúan para todas las actuaciones posibles tendientes a conseguir el fin los costos (incluidos o no los externos) y los beneficios y se opta por la que proporcione una diferencia máxima. En muchos casos lleva implícito asociar un valor monetario a la vida humana.
- 3- Costo – Eficacia. Se plantea este criterio cuando los recursos disponibles son inferiores a lo que podría sugerir el criterio anterior o bien tienen que ser compartidos con otras inversiones y al tener un techo conjunto debe llegarse a un equi-reparto.
- 4- Estándares tecnológicos. Se trata de conseguir el mejor resultado posible con la mejor técnica disponible. En la práctica se aplica mediatizado por el anterior y se acepta una técnica sensiblemente más barata que la mejor pero cuya eficacia le sea cercana.
- 5- Riesgo contra Riesgo. Cuando una actuación aminora un riesgo pero aumenta otro se trata de seleccionar la actuación que optimiza el resultado.
- 6- Prohibición de exponerse a algún riesgo concreto. Se trata de excluir materiales (por ejemplo, asbestos), mecanismos o prácticas etc. que se consideren inaceptablemente peligrosos.

7- Exigir medidas suficientes para acotar la probabilidad de producirse un evento peligroso o de que se produzca una cierta consecuencia del mismo.

Incluso dentro de un mismo tema, máxime si tiene tantas incidencias como una obra hidráulica, y según el punto que se esté considerando, cada uno de ellos puede presentar ventajas de comodidad, claridad o racionalidad. Desde luego es por ello comprensible que se utilicen combinadamente.

La cuestión general de la seguridad por la cada vez mayor complejidad de los riesgos presentes o potenciales como consecuencia de acciones propias o de otros, así como por las razones ya señaladas recibirá una atención creciente en el futuro que tal vez se plasme en unas Bases Generales de Seguridad con criterios cuantitativos.

Se llegue o no a ese marco general las Obras Hidráulicas (como sucede en algunos otros sectores) tienen unos rasgos propios que afectan y seguirán afectando de forma específica a la concepción de su seguridad. Entre esos rasgos cabe señalar: a) Los riesgos se imponen sobre todo a terceros y eventualmente sus daños pueden ser muy superiores a los propios, b) Los riesgos potenciales pueden tener una entidad suficiente como para poder llegar a catástrofe nacional y en tal caso mediatizar en el futuro la confianza pública en que la seguridad es suficiente, c) La longevidad esperable en estas estructuras, d) Su encadenamiento, así por un lado la rotura de una pone en riesgo a las de aguas abajo pero por otro si alguna de ellas resiste puede cortar el problema, e) La probable existencia de un amplio tiempo de alerta, f) La diversidad tipológica de las estructuras en riesgo.

Aún comprendiendo las razones de índole práctica y de seguridad jurídica que llevaron en 1996 a la citada convivencia de dos normas parece deseable, al menos para amplios sectores profesionales, que en el futuro pueda haber una ley con un espíritu similar al del actual reglamento y su atención a los peligros esperables pero complementado con la inclusión de precisiones sobre los riesgos que deben de ser evitados y cuáles son asumibles en función de cada situación. Afortunadamente parece que está próxima la promulgación de tres Normas Técnicas de Seguridad (NTS) amplias y detalladas que satisfará esas

expectativas y cuya entrada en vigor anulará tanto el Reglamento como la Instrucción. Una de las tres, la Norma Técnica de Seguridad para el Proyecto, Construcción y Puesta en Carga de Presas y Llenado de Embalses amplía el número de presas con especial vigilancia pues en su Borrador se señala que además de a las Grandes Presas será de aplicación a las presas y balsas que tengan más de 5m de altura o más de 100.000m³ de capacidad. En su contenido además de mantener y actualizar la precisión y variedad de conceptos y actuaciones que se incluían en el Reglamento se entra en las especificaciones para diversos riesgos, así por ejemplo en la capacidad de evacuación de Avenidas se distingue (como hacía el Reglamento) entre Avenida de Proyecto, que debe ser desaguada de forma ordinaria y con los resguardos que se especifican, y la Avenida Extraordinaria, que debe de ser evacuada sin desbordamientos pero sin necesitar resguardos. Para la primera se fija un periodo de retorno de 1.000 años y para la segunda un periodo de 10.000 años si es de materiales sueltos y de 5.000 años si es de fábrica. Como se ve este enfoque perfecciona y refina la seguridad que se postulaba en la Instrucción, incrementándola además al duplicar el periodo mínimo de retorno y perfilando mejor cuál es la seguridad real de que se dispone. Pues aunque, gracias a los resguardos, las presas construidas de acuerdo con la Instrucción tenían una seguridad real superior a la nominal no había una garantía de que ese incremento, significativo en muchos casos, lo fuera en todos, mientras que con las NTS se garantizará un incremento cercano a 10 veces en el periodo de retorno.

Otro aspecto muy importante de las NTS es que en ellas la consideración de lo que sucedería en caso de rotura además de servir para clasificar la presa en una de las Categorías A, B o C debe de ser contemplado en sus distintas formas posibles de acontecer. Esto se hace sin atribuir a esos sucesos la probabilidad de que ocurran (y por tanto sin valorar cuál es el riesgo real), pero obligando a considerar cuáles serían los daños resultantes para poder planificar las medidas de protección y alerta que deberán aplicarse.

Pero en esta prospectiva queremos hablar no solo de la seguridad en el futuro inmediato sino también a un plazo más largo. Así, aunque el Reglamento y las futuras NTS distinguen entre riesgos de vidas y riesgos de bienes y cada tipo

de riesgo puede ser decisivo a la hora de clasificar la categoría de una presa hay que observar que una vez clasificada, las acciones a desarrollar no dependen del origen de la clasificación. Al ser unos y otros riesgos muy distintos cabe entender que en el futuro diferirán de tratamiento en algún grado. Siendo también plausible que los bienes que tengan un contenido artístico, histórico, simbólico o ambiental y se consideren irremplazables, puedan recibir una protección reforzada.

El riesgo de vidas sobre todo si es de terceros (aunque admitiría compensación económica si se produjera) para ser asumible debe, o bien ser compensado en la misma moneda, o bien ser tan bajo que su imposición se considere que sería aceptada como razonable por una persona media tomando en cuenta los beneficios que incluso en términos de esperanza y calidad de vida los miembros de la sociedad obtienen de la existencia de las presas. Una compensación cuantitativa comparando protección y riesgo de vida se produce en las presas destinadas a la laminación de avenidas. En las restantes y aunque todas tengan un efecto laminador cabe en lo posible que sus efectos directos en la protección de vidas no compensen suficientemente los riesgos del mismo tipo. Por tanto parece que, si se llega a ello, la cuantificación deberá hacerse de una manera indirecta y global. En un lado de la balanza estarán las obras hidráulicas como multiplicador de la renta nacional, factor que era muy alto en el pasado pero que hoy día tiende a decrecer por la progresiva menor incidencia de las materias primas en el producto interior bruto. A continuación deberá de valorarse el efecto del incremento de renta en aumento en la esperanza y calidad de vida y la porción de ello atribuible a las Obras Hidráulicas. El resultado se expresará en millones de años de vida ganados, y una vez dividido por la duración media de vida, se obtendrá el incremento de esperanza de vida ganado cada año, atribuible a las obras hidráulicas que según épocas podrá ser decenas o centenas de miles de años. En el otro lado de la balanza en esta cuantificación global deberá ponerse para el conjunto de las obras hidráulicas las probabilidades anuales de los distintos fallos posibles de cada estructura y el número de muertes asociable. Cada una de estas muertes supone una pérdida en años mitad de la esperanza media de vida. Con esto se cuantifica

el perjuicio anual medio. Como el beneficio es para toda la sociedad y el perjuicio solo para los pobladores de las zonas afectables por las obras, ha de concluirse que para que sea aceptable la imposición del riesgo, el cociente entre beneficios y daños ha de ser alto por ejemplo, 20. Aunque por supuesto este valor debe de ser acordado socialmente, una vez fijado es posible cuantificar con qué probabilidades son asumibles en cada obra acontecimientos que causen 1 muerto, 5 muertos, 10 muertos, etc. y reflejarlas en la normativa. No hace falta decir que la cuantificación tiene un efecto positivo en la seguridad no solo porque limita el riesgo al valor que se desee (que es esencial) si no también porque estimula la adopción de alertas, la mejora de los instrumentos de medición para así incrementar los tiempos de prevención y la disposición de refugios seguros y accesibles en caso de alarma.

Si se habla de daños materiales posiblemente habrá que seguir manejando para cada presa la probabilidad de que se presente una causa natural (riada, terremoto, etc.) con efectos potencialmente graves así como la de que suceda un fallo humano de posibles efectos de similar gravedad. Pero advirtiendo que cuando las probabilidades a considerar son tan bajas como la de 0,0001 que corresponde a los 10.000 años mencionados en las NTS las bases estadísticas en algunos casos serán insuficientes para una estimación fiable, con lo que en estos casos puede ser preferible hacer una estimación con una probabilidad más alta pero cuyos resultados sean más confiables (por ejemplo, 0,002) y mayorar los resultados con un factor, factor de mayoración que con cierta impropiedad se llama a veces “coeficiente de seguridad”. Otra ventaja de este enfoque es la de que si con el tiempo se juzga necesario aminorar el riesgo bastará incrementar adecuadamente el coeficiente de seguridad. Se haga de una u otra forma esta prescripción consigue un efecto de homogeneidad tanto en el riesgo como en su percepción pública. Pero es de suponer que, cuando lo permitan los medios informáticos, la modelación matemática, la toma de datos y los modelos de gestión, la toma de decisiones se apoyará, para la concepción de la obra, en un barrido de eventos hipotéticos acompañados de una estimación realista de los daños esperables y de la probabilidad que se asocie a cada evento. A su vez la gestión se

apoyará en un barrido de eventos mucho más estrecho gracias a la información en tiempo real de que se podrá disponer.

Es necesaria esta evaluación separada de riesgo y daños por varias razones: En primer lugar porque la relación entre el uno y los otros varía según la tipología de la presa, así si se compara, ver figura 1, una presa bóveda y una presa de tierras (suponiendo idéntico embalse) el riesgo de que se rompa la primera es muy inferior al de que se rompa la segunda pero, por la forma de rotura, en la primera los daños serán mucho mayores y se presentarán con más rapidez. En segundo lugar porque el riesgo por un lado y los daños por otro se ven afectados positiva o negativamente por la presencia de otras presas en la misma cuenca y deberán valorarse conjuntamente cuando ello sea posible. En tercer lugar porque en la realidad de los daños (y por tanto en la aceptabilidad del riesgo) pueden tener un importante peso las medidas preventivas y paliativas que se puedan adoptar y esa posibilidad debe de incorporarse a los análisis.

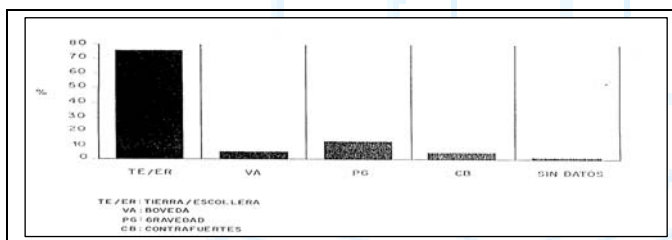


Figura 1 Roturas según tipología de Presas

En el caso de producirse una catástrofe natural de carácter inimaginable tendrá lógicamente consecuencias en el sistema hidráulico. En la actualidad en este supuesto, toda vez que su probabilidad es muy inferior a la que la normativa considera prevenible, el sistema hidráulico pasaría a ser una víctima más de la catástrofe. Sus diversos gestores, en virtud de la consideración de fuerza mayor, serán responsables de los agravamientos debidos a una eventual actuación inadecuada por su parte, pero no lo serán de los que meramente provengan de las alteraciones que la existencia de la obra haya originado. En el futuro sin embargo cabe esperar que la elevación de los estándares de seguridad sitúe la previsión exigible dentro de las “inimaginables” y en tal caso será obligado que la normativa precise qué nivel de eventos se considerará fuerza mayor.

Dado el gran número de presas existentes en el mundo, unas 50.000, con una gran variedad de climas y también una cierta variación en los niveles de seguridad cabe temer que con el paso de los años y operando la ley de los grandes números alguna combinación particular de circunstancias provoque una rotura de características o consecuencias inesperadas (aparte de otras roturas por una mera superación de las previsiones). Se evidencia en tales casos que no todo es previsible y que estas duras lecciones sirven muy eficazmente para aumentar la seguridad ampliando la normativa. La experiencia del pasado corrobora la certidumbre de que la protección real es siempre inferior, por poco que sea, a las previsiones y que las obras mejor preparadas no resisten casi nada cuando las fuerzas de la naturaleza actúan de una forma totalmente inesperada.

En resumen cabe entender que para las presas se aplicará una yuxtaposición de los 7 criterios expuestos con exclusión del primero por inadecuado. Con primacía del último por ser el más tranquilizador tanto para la opinión pública como para los responsables. Tomando en cuenta el segundo y tercero por ser los más racionales para el gestor. Con incidencia del quinto en el riesgo de vidas. Con presencia meramente instrumental del sexto y anecdótica del cuarto.

Por último cabe decir, aunque necesariamente se formule de forma imprecisa, que el contraste entre la gran pervivencia de las obras hidráulicas y el costo de su modificación con la rapidez de los avances técnicos y de la evolución del incremento de las demandas de seguridad muevan a dos consideraciones: a) La modificación de las normas debe de ser lo más gradual que sea razonablemente posible, b) Las obras deben de concebirse pensando que se puedan acomodar con economía a futuras exigencias de seguridad.

2. ALTERACIÓN NATURAL O INDUCIDA DEL CICLO HIDRÓLOGICO

Es patente en los registros geológicos que a lo largo de los milenios tanto globalmente como localmente el ciclo hidrológico ha experimentado cambios de extraordinaria envergadura. Estos cambios han sido en ocasiones bruscos y en otras graduales. Los primeros con efectos catastróficos incluida la extinción de

una proporción altísima de especies, mientras que los segundos, aunque también originasen extinciones, han podido permitir una alta proporción de adaptación por evolución. Hasta ahora las causas de estos cambios han sido de carácter natural pero entra en lo posible que pueda haber causas humanas. Las causas naturales pueden ser de tipo astronómico o terrestre. En las causas de tipo astronómico casi nada podrá hacerse para evitarlas. Por ello hablaremos de las causas terrestres en las que nos puede tocar figurar bien como causantes bien como eventuales correctores de causas o efectos indeseados.

El indicador de cambio más importante es la evolución de las temperaturas medias pues la evolución de temperaturas arrastra cambios en la circulación oceánica y atmosférica. Las temperaturas son el resultado del intercambio de calor de la Tierra con el exterior. La Tierra recibe el calor del sol en radiaciones de alta temperatura, en torno a 6.000°K , y mientras no se caliente o enfríe, devuelve la misma cantidad al exterior a una temperatura bastante más baja, que en la actualidad es 15°C (288°K). Dada la temperatura mencionada, las radiaciones solares llegan al exterior de la atmósfera en unas frecuencias que van del ultravioleta al infrarrojo y en una cuantía muy estable con una irradiancia que se estima en 1.370 W/m^2 con una ligerísima variación inferior al 1% (debida a la excentricidad de la órbita terrestre que es muy reducida). Si se reparte dicha irradiancia entre toda la superficie terrestre y se toma en cuenta los cambios de orientación en función de la hora y de la latitud resulta un valor medio de 324 W/m^2 . Al atravesar la atmósfera y hasta su llegada a la superficie terrestre, esta radiación es en parte reflejada, en parte absorbida y en parte transmitida pero esto sucede en proporción muy variable en función en cada momento de la composición de la atmósfera y de la altura del punto de llegada. Como referencia, en un día con atmósfera límpida al nivel del mar y con el sol en el cenit se reciben $\frac{3}{4}$ de la irradiancia, o sea unos 1.000 W/m^2 (si no está el sol en el cenit se recibirá menos) repartidos en un 40% de luz visible un 50% de infrarroja y un 10% de ultravioleta (las nubes retienen o reducen la infrarroja, moderan más o menos la visible y concentran y/o dispersan la ultravioleta pero no la reducen). La radiación que llega a la superficie es en parte reflejada y en parte absorbida. La radiación recibida es en parte intercambiada con el entorno

por transmisión y convección y sobre todo emitida como radiación infrarroja que corresponda en cada punto a la temperatura local (como media los 15° C mencionados). Esta última radiación que alcanza el espacio exterior es en parte retenida por la atmósfera como sucede con la radiación incidente, según se ha comentado, pero en las condiciones habituales, dada la diferencia de temperaturas entre ambas radiaciones el filtro atmosférico retiene mucha más proporción de la saliente que de la entrante por lo que para poder emitir suficiente calor saliente la tierra necesita alcanzar una temperatura más alta que la que tendría si no existiera la atmósfera (Se estima que caso de no existir la atmósfera la temperatura de la Tierra sería 33° más baja de la actual). Esta diferencia es el denominado efecto invernadero. Naturalmente si hay cambios amplios en la atmósfera el efecto invernadero se incrementa o atenúa. Para completar el cuadro ha de hablarse del albedo que es la proporción o porcentaje de radiación reflejada de toda la recibida. El albedo depende de la naturaleza de la correspondiente superficie así en la nieve es alto 86% y en los océanos y bosques es bastante bajo de 6% al 10%, en los suelos sin vegetación 15% a 20% y en las nubes va del 40% al 80%

Al hablar pues de la posible evolución de la temperatura hay que considerar los dos factores más susceptibles de alteración: la composición de la atmósfera y el albedo del planeta.

Por lo que hace a la composición de la atmósfera las principales alteraciones posibles son: a) El incremento de los gases que hacen la atmósfera más opaca a las radiaciones infrarrojas que emite la superficie terrestre, estos gases - fundamentalmente CO₂ y metano - han aumentado un 25% y un 100% respectivamente desde sus valores preexistentes. b) Posible aumento de partículas en suspensión en la atmósfera lo que incrementa la reflexión y atenúa el paso de la radiación; su efecto es complejo según la composición pero en principio se traduce en una tendencia al descenso de la temperatura. c) Variaciones en el vapor de agua y las nubes, que si es un incremento actúa por un lado con un efecto invernadero (tendencia al aumento de temperatura) y por otro como un incremento de albedo (tendencia al descenso).

En este momento es seguro que la actividad humana está aumentando los gases de efecto invernadero, siendo dudoso pero no imposible que también influya en otras posibles alteraciones atmosféricas y en el albedo.

Por su parte, las variaciones de albedo (responsables de la estabilidad de las glaciaciones), aún en proporciones muy bajas, afectan sensiblemente al equilibrio de las radiaciones.

El resultado final que se viene experimentando en el clima es un incremento de entre $0,1^{\circ}$ y $0,2^{\circ}$ por década. Las diferencias de ritmo entre distintas zonas evidencian la dificultad de comprender al detalle el proceso. Es posible que se deba en todo o en parte a causas naturales y que pueda suceder que los efectos antrópicos sean pequeños en relación a los naturales o que se compensen en mayor o menor grado. Pero el hecho de que esta elevación de temperatura sea concomitante con un incremento de los gases de efecto invernadero y el que no haya una cuantificación clara ni de las posibles causas naturales, ni de cuándo cesarían, ni de los posibles efectos antrópicos compensadores llevan a entender, al menos, que es muy probable que esta tendencia al incremento de temperaturas se mantenga en el futuro.

El efecto teóricamente esperable del incremento de temperaturas en el ciclo hidrológico es el de una mayor virulencia es decir se puede esperar que las lluvias excepcionales sean más intensas. Por consideraciones de tendencias los expertos vaticinan también que en España con el incremento de temperaturas descenderá la pluviosidad media y se incrementará la irregularidad. La planificación hidrológica deberá, mientras no cambien las circunstancias, tomar en consideración dichos efectos.

3. CAMBIOS EN LAS NECESIDADES Y CAPACIDADES

Las crisis son uno de los principales motores del cambio (por ejemplo, la rotura de algunas presas nacionales o extranjeras ha sido la causa próxima de los cambios legislativos), pues como dijo Hermann Kahn [3], hablando del futuro hace casi 50 años, “las crisis son situaciones que alteran las prioridades de las organizaciones” y por tanto alteran las necesidades e imponen tensión en los medios. Se habla de crisis económica, crisis política, crisis social, crisis

ambiental, crisis moral, etc. Cabe preguntarse si en el futuro se hará presente alguna de ellas y sobre todo hasta qué grado. No siendo fácil ni siquiera prever las crisis próximas qué decir de la llegada y desarrollo de las lejanas. ¿Se ha de ser por tanto pesimista? No necesariamente, pues también están las otras crisis. Las crisis de obsolescencia en diversos sectores causadas por las innovaciones o poniéndoles su mejor nombre, crisis de crecimiento. Crisis que también solemos llamar revoluciones: Revolución verde, revolución de las telecomunicaciones y de la información, revolución en los materiales y las industrias extractivas, revolución energética, nanotecnologías, revolución bioquímica y muchas más si se incluyen las desconocidas que vendrán. Todas ellas con incidencia en la gestión del agua.

En relación a las crisis algo sí se puede aprenderse del pasado y es que las crisis negativas llegan por una rotura de algo que se ha estirado excesivamente, bien por imprevisión o por falta de voluntad o capacidad de enfrentarse a las causas del estiramiento. Sin embargo en el caso de la gestión del agua hay tres razones importantes para inclinarse, aunque sea moderadamente, del lado del optimismo. 1ª) Durante al menos el último siglo ha habido una considerable atención al sector y aunque con unos importantes cambios de énfasis y enfoque cabe esperar que se mantendrá. 2ª) La parte más sustancial del almacenamiento necesario se hizo ya en unas seis décadas del pasado siglo. 3ª) No parecen esperables deterioros globales graves de la situación actual, aunque sí sobreexplotaciones locales que pueden llevar a situaciones críticas. Empero, además de las precauciones en la gestión para evitar esos niveles de deterioro, parece conveniente mantenerse vigilantes, no tanto para hacer frente anticipadamente a riesgos potenciales imprecisos, lo que sería costosísimo, sino para detectar tendencias y tensiones para que así las actuaciones futuras incorporen la previsión de las posibles medidas compensadoras o correctoras.

La existencia de amplias redes hidrométricas, sísmicas, meteorológicas y de medición de calidad de las aguas cubren los requisitos mínimos. Pero es de desear y esperar que los medios de teledetección y de monitorización, de medición y de análisis automáticos, que ya se utilizan, tengan en el futuro una evolución técnica y económica que propicie un sustancial incremento de su

uso. Acompañados de herramientas de elaboración de la información permitirán dotarse de mejores medios de medición, previsión y pronóstico. Así por ejemplo, una futura información meteorológica que permitiese valorar con cierta precisión cuánta lluvia va a caer y dónde con una anticipación de siquiera cuatro días permitiría mejorar mucho la gestión de los caudales fluyentes por los cauces, también de su almacenamiento y atemperar con mucha eficacia los efectos negativos de las grandes avenidas y eliminar los de las pequeñas. Similarmente las tecnologías láser y radar de teledetección, completadas con mediciones de contraste sobre el terreno, podrán evaluar a bajo costo: la situación ambiental de la atmósfera y los estados de lluvia, la composición y salud de zonas vegetales extensas y su riesgo de incendios, los depósitos nivales, la erosión del terreno y el estado de los cauces.

Estas herramientas ayudarán mucho en la búsqueda de soluciones a las situaciones que se planteen debidas tanto a los cambios en las necesidades y demandas de agua como a la evolución en la oferta. Desde luego las demandas se van a incrementar.

Empezando por la calidad, las normas europeas y nacionales imponen e impondrán un calendario de mejoras y en su caso regeneración de cauces. Por otra parte una mejor monitorización va a hacer más eficaz el control de los vertidos y reducir por tanto los impactos contaminantes. Asimismo, mejoras técnicas en la depuración van a llevar a una mayor calidad del agua en los cauces o en la que se entrega al mar. El paso siguiente será la regularización biológica y la expulsión o al menos control y aclimatación de especies invasoras. A más largo plazo vendrá una gradual aproximación del régimen fluvial en distintos tramos a los óptimos biológicos y la mejora vegetal de márgenes. Habrá por tanto unas mayores restricciones a la retirada de agua en los cauces.

Por su parte la demanda urbana e industrial crecerá si bien con la obligación de su restitución depurada. En cuanto a la demanda agrícola, que es la más importante (80% del total) pues previsiblemente va a crecer la superficie cultivada, va a recibir una fuerte presión de los otros usos para que mejore su eficiencia, drene y reutilice y en definitiva reduzca el consumo unitario. Es de

prever que con el agua depurada que anteriormente se incorporaba a los cauces en su totalidad se continúe con la tendencia a dirigirla a usos compatibles con la calidad conseguida (reutilización de aguas regeneradas) evitando su dilución en los cauces. Así los 400 Hm³/anuales de reutilización (un 80 % va a la agricultura) de la actualidad se podrán triplicar en el futuro inmediato.

Por tanto la oferta total es decir el suministro natural del ciclo hidrológico y la aportación que hagamos nosotros a ese ciclo va a experimentar cambios. En el ciclo natural cabe en lo posible, aunque nada pueda asegurarse, que haya un cambio climático que reduzca y concentre la aportación y fuerce a medidas adicionales de regulación.

La desalación que tiene acomodo, en usos urbanos y en los cultivos con mucho valor añadido, si no se dispone de otro suministro alternativo, es todavía demasiado costosa para la mayoría de los usos agrícolas debido al elevado precio de la energía en este momento. Pese a los reiterados vaticinios, la energía barata sigue situada en un futuro indefinido. Pero no puede excluirse que en el futuro haya fuentes de energía más baratas lo que junto con las mejoras en la eficiencia de los procesos de desalación podría llevar a una mayor producción de agua desalada. En todo caso cabe pensar que su inferior calidad y los riesgos de salar excesivamente el terreno limitan el que pueda representar una proporción alta del consumo.

Pero es en la regulación y almacenamiento del agua donde se experimentarán más tensiones pues a las complejidades de la coordinación de varias necesidades con un recurso a veces muy escaso, se añadirán varias causas:

En primer lugar, cabe advertir que la razonable voluntad de poder resistir, sin efectos adversos, avenidas mayores que las previstas actualmente en los órganos de desagüe va a llevar a dejar en los embalses un resguardo o margen de embalse inutilizado para poder laminar esas avenidas. El resguardo será innecesario cuando sea posible ampliar los aliviaderos. Esa reserva va a suponer una merma de la capacidad de almacenamiento en las presas actuales.

En segundo lugar, y contrapuesto a lo anterior, el incremento de demanda requiere una mejor regulación y un mejor y mayor uso de la capacidad de almacenamiento.

En tercer lugar, los embalses experimentan una merma de su capacidad debida a los aterramientos. En el pasado, este efecto era sentido poco por dos causas. Por un lado, al construirse los embalses se dispone en ellos de una zona muerta (por debajo del desagüe más profundo) que recibe buena parte de los sedimentos sin que ello merme el volumen que el embalse destina a regulación. Por otra parte el rápido ritmo de construcción de nuevos embalses hacía que la eventual merma que pudiera llegar a experimentar algún embalse antiguo fuera muy holgadamente suplida por el incremento de capacidad de almacenamiento que aportaban los embalses recién construidos. La situación actual es muy distinta, se construyen pocas presas y desde luego sus capacidades están muy lejos de las mayores del país. Además, dado el tiempo transcurrido desde su construcción la zona muerta de muchas presas está muy colmatada y ello hace que los depósitos en la zona viva que siempre han existido aumenten más deprisa. En términos porcentuales, la reducción anual de capacidad por este efecto es pequeña (en media menos del 0,25%) pero esta merma es insidiosamente acumulativa. La figura 2 muestra para 101 embalses en los que se efectúa un seguimiento de los depósitos cuál es la evolución esperable si no se toman medidas.

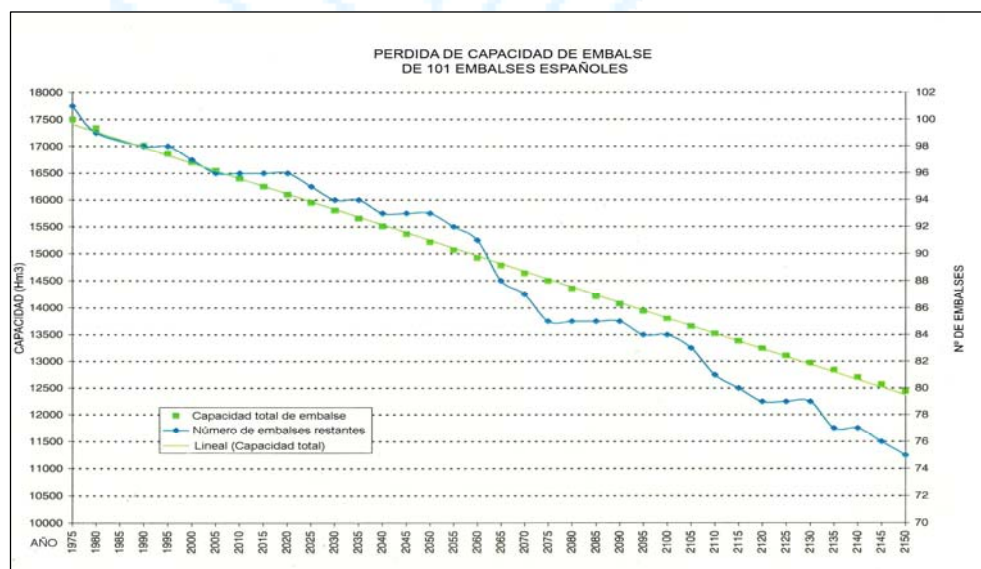


Figura 2 Pérdida de Capacidad de Embalse de 101 Embalses Españoles

Y puede verse que en 50 años si no hay nuevas obras (o medidas correctoras) mermará la capacidad de embalse en al menos un 8%. En realidad la situación será, en tal caso, peor de lo que parece cuando se habla solo en términos globales, pues, como se aprecia en la tabla 1, los ritmos del aterramiento varían de una cuenca a otra y de uno a otro embalse. Así puede verse que algunos de los embalses analizados se pueden colmatarse en 25 años y de hecho ya hay en España algunos que ya están aterrados, si bien queda en ellos una fracción de su capacidad de embalse originaria. Ha de añadirse a esto que si efectivamente hay una variación del clima como la que arriba se ha comentado, el que las grandes avenidas sean más frecuentes hará que (aunque descendiese la aportación líquida anual) el ritmo de los aterramientos se incremente.

Tabla 1 Pérdidas de capacidad anual por cuencas

CUENCA HIDROGRAFICA	Nº DE EMBALSES ESTUDIADOS	PERDIDA DE CAPACIDAD ANUAL (%)	EMBALSES CON P.C.A. SIGNIFICATIVA
NORTE	3	0,42(1E)	-Alfilorios(arcillas) 2,65% -Peñarrubia 0,96%
DUERO	5	0-0,61	
TAJO	12	0-0,6(9E)	-Cazalegas 0,9% -Guajaraz 2% -Riosequillo 2%
GUADIANA	5	0-0,42	
GUADALQUIVIR	22	0-0,43(19E)	-Doña Aldonza 4,46% -Pedro Marin 4,09% -Gergal 0,8%
SUR	5	0-0,5	
SEGURA	12	0-0,68(10E)	-Anchuricas 1% -Taibilla 1,125%
JUCAR	16	0-0,6(14E)	-Embarcaderos 2,71% -Gaudalest 0,79%
EBRO	17	0-0,6(15E)	-La Estanca de A. 1,89% -Las Torcas 1,06%
CATALUÑA	4	0-0,35(3E)	-San Pons 0,91%

4. ALGUNOS ELEMENTOS DE LA FUTURA GESTIÓN DEL AGUA

Se han visto las tendencias que configurarán probablemente el futuro y ahora se va a considerar con que medios se podrán contar para hacer más eficaz la gestión. Para ello se comenzará por listar muy sintéticamente los que hemos considerado objetivos principales:

- 1- Mejorar la dotación de recursos y hacer de ellos un uso más eficiente.
- 2- Mejorar la calidad de las aguas que estén deterioradas tanto fluyentes como embalsadas y en acuíferos.
- 3- Aumentar la seguridad de las infraestructuras. Y una de sus consecuencias que es aumentar la capacidad de desagüe de las presas.
- 4- Incrementar o al menos mantener la capacidad de almacenamiento.
- 5- Restauración biológica de los cauces y su entorno.

Consideración aparte merece un sexto punto por su carácter potencial.

- 6- Paliar los efectos del incremento de temperaturas si éste persiste.

Antes de centrarnos en los otros puntos, unos breves comentarios sobre esta cuestión:

Se trata de un problema global y por ello se ha de procurar una solución concertada. Pero complementando el oficialmente generalizado deseo de reducir la emisión antrópica de gases de efecto invernadero y de los acuerdos en torno al más conflictivo de ellos - el CO₂ - la realidad es que mientras no haya fuentes baratas de energía alternativa la producción de éste se mantendrá o incrementará. Especialmente en los países que aprecien que el calentamiento les interesa. Las medidas compensatorias se orientan a atrapar el CO₂. Las trampas minerales son costosas y la actuación más clara es aumentar la vegetación terrestre y marina, pero su eficacia es sólo temporal pues a medio o corto plazo estos vegetales son consumidos y finalmente el carbónico se vuelve a incorporar a la atmósfera. En España (y Marruecos) tenemos la singular opción de sumergir el CO₂ en estratos profundos del Atlántico aprovechando que en el Estrecho sale del Mediterráneo una

caudalosa corriente que se sumerge bajo el océano. Pero a esta opción, aparte de ser limitada y de los problemas ambientales que pudiera tener, le sucede lo mismo: demora el problema pero éste vuelve en unas décadas. La acción alternativa de incrementar el albedo, olvidando sus dificultades, tiene un límite. Pues no podría ampliarse indefinidamente si hiciera falta por no controlarse el carbónico.

Entrando en los otros cinco puntos se puede empezar por hacer notar, como ya se ha señalado, que una mayor riqueza de datos en calidad y cantidad obtenidos con la mayor antelación posible servirá para ir generando mejoras de gestión en todos ellos (y eventualmente en el punto 6).

Es también obvio que en un cauce los avances en el punto 2 son indispensables para poder acometer el 5 y ya se ha comentado que desde luego se incrementarán mucho en el futuro las estaciones de depuración y tratamiento.

Así mismo ha de destacarse que en el futuro la implantación de nuevas presas en los cauces va a limitarse sobre todo a la prevención de avenidas o a presas pequeñas con fines de derivación. Por ello para cumplir con el punto 4 se acudirá a la construcción de balsas (ya hay en España más de 50.000) y a la de presas en cuencas de escasa aportación pero que reciban el agua por trasvase (ya hay unas cuantas). Pues este tipo de depósito, aunque más costoso por m³ almacenado, atenúa mucho los condicionantes ambientales y de seguridad si se compara con las presas tradicionales. A medida que sean más baratas las máquinas de movimiento de tierras y las tuneladoras estas opciones se verán favorecidas.

Similarmente hay desde luego numerosas acciones que ya se vienen desarrollando activamente encaminadas para mejorar cada uno de los cinco puntos. Las cuales previsiblemente persistirán. Sin quitarles su importancia en esta mirada al futuro parece más ilustrativo hablar de incipientes nuevas posibilidades. Así:

- Hay algunos embalses en los que es factible, tras los estudios oportunos, conseguir que en las avenidas los limos que llegan en suspensión circulen

en forma concentrada (corriente de densidad) por el fondo del embalse [1] y [5]. Esto permite su extracción selectiva por desagües con ese fin específico, así como disminuir la sedimentación y prolongar la vida del embalse.

- La vulnerabilidad de las presas de tierra en caso de desbordamiento es según se ha visto motivo de mayor exigencia en los niveles de seguridad. Aún manteniendo esas exigencias los daños esperables pueden reducirse con sistemas no muy costosos. Basta para ello reforzar la presa para que pueda resistir vertidos moderados sobre ella.
- Además de escalas de peces cabe la implantación de ascensores de peces bien mecánicos bien hidráulicos por succión e impulsión separadas.
- Tras algunas presas y para ampliar el flujo por encima del caudal ecológico en su tramo de aguas abajo se pueden concebir conductos para recircular el agua en el tramo con muy poco consumo de energía o incluso sin consumo.
- La utilización de criterios de seguridad estacionales puede, además de mejorar la gestión, llevar también a mejorar tanto la seguridad conjunta como la de las épocas de mayor riesgo.

Es cierto que cualquier acción que mejore uno de los cinco puntos coadyuva siquiera mínimamente a la mejoría de los otros, pero aquí se quiere especialmente incidir en algunas posibles actuaciones que podrían contribuir a más de un punto. Así:

- La reforestación en zonas de montaña además de al punto 4 contribuye a reducir sustancialmente los arrastres y por tanto ayuda en el punto 5.
- Los mismos puntos puede decirse que son mejorados por los azudes de contención de laderas en torrentes muy erosivos.
- La construcción de pequeños embalses (con capacidad inferior a 100.000 m^3) en la cola de los grandes embalses aunada con un túnel de derivación puede presentar las ventajas de: a) poder usar el túnel para el desvío de los sedimentos y prolongar la vida del embalse grande o para trasvasar a una

cuenca próxima y mejorar el almacenamiento o para instalar un ascensor de peces (por succión e impulsión separadas) o incluso para los tres usos según momentos y b) ser generalmente factible mantener un nivel estable dando mejores oportunidades a numerosas especies.

- La instalación de aliviaderos de superficie con capacidad de succión en presas antiguas permitirá, a) ampliar la capacidad de evacuación, b) anticipar la laminación con caudales salientes superiores a los entrantes, c) una reducción preventiva de niveles en el embalse más rápida que la actual, d) una mejor aproximación al régimen natural del río.

5. CONCLUSIÓN

Se ha comentado en todo lo anterior los que se consideran más importantes motivos de los futuros cambios y como abordarlos. Pero se quiere completar esa exposición con unas consideraciones generales ligadas sobre todo a la gran duración de estas infraestructuras.

- **EL MANTENIMIENTO.** En la valoración de las infraestructuras hidráulicas españolas, que incluyendo las públicas y privadas, supera los 50.000 millones de euros, se ha procedido por lo general a estimarlo igualándolo a su valor de costo actualizado. Ello es razonable desde el punto de vista de su amortización. Pero si se valora dicho patrimonio por su contribución a la riqueza nacional, esto es, valorando cuánto más estarían dispuestos a pagar sus usuarios (un factor que no sería nada homogéneo) por el agua que reciben, dicha cifra se multiplicaría al menos por dos. Este valor unido a la fortaleza y longevidad de estas estructuras (que puede enmascarar un paulatino deterioro en algunas de ellas) obliga a resaltar la importancia de un buen mantenimiento y actualización de las infraestructuras. Dentro de 50 años casi todas las infraestructuras actuales seguirán en servicio, pero serán aún más viejas si no se actúa.
- **LA INNOVACIÓN.** En elementos cuya vida se cifra en 10, 15 o 25 años se pueden necesitar reparaciones pero no cambios de concepción. En los que tienen la extraordinaria pervivencia de las obras hidráulicas

parece que es necesaria una evaluación periódica de su situación pues los cambios así aportados rendirán sus beneficios por mucho tiempo. Esto incluye no solo las infraestructuras en sí, pues se aplica también a instrumentos de medición y control, medios de gestión, implantación de nuevos órganos para funciones antiguas o nuevas, etc.

- EL GRADUALISMO. Los cambios se deben experimentar en unos pocos casos y luego aplicarlos gradualmente al resto.
- EL POSIBILISMO. Las mejoras que pretendan las nuevas normas no deben imponer nuevas obligaciones que resulten excesivamente onerosas y pasen a ser inaplicables. Con las lógicas excepciones debe de evitarse que la normativa agote la viabilidad económica de algo que presta un buen servicio.

Por último, recordando a Feynman y su conferencia “There is plenty of room at the bottom” [2] hace 52 años, resaltar la importancia de formar personas para gestionar ese futuro y la importancia de disponer de visionarios bien informados que puedan avizorar los futuros problemas y los nichos de oportunidad.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] - C. Avendaño, G.Bravo, R.Cobo, P. Fernandez, C. Mateos, E. Ortega, A. Palau y E. Sanz: "Sedimentación en embalses". Editado por SEPREM 2002
- [2] - Richard P. Feynman: "There is plenty of room at the bottom". Conferencia ante la American Phisical Society. En Caltech 29 dic. 1959.
- [3] - Herman Kahn y Anthony J. Wiener : "El año 2000". Editado por revista de Occidente en 1969.
- [4] - Moisés Rubin de Celis Caballero: "Seguridad de presas: pasado, presente y futuro" Ingeniería y Territorio
- [5] - Rodney White: "Evacuation of sediments from reservoirs". Thomas Telford Publishing. 2001

