

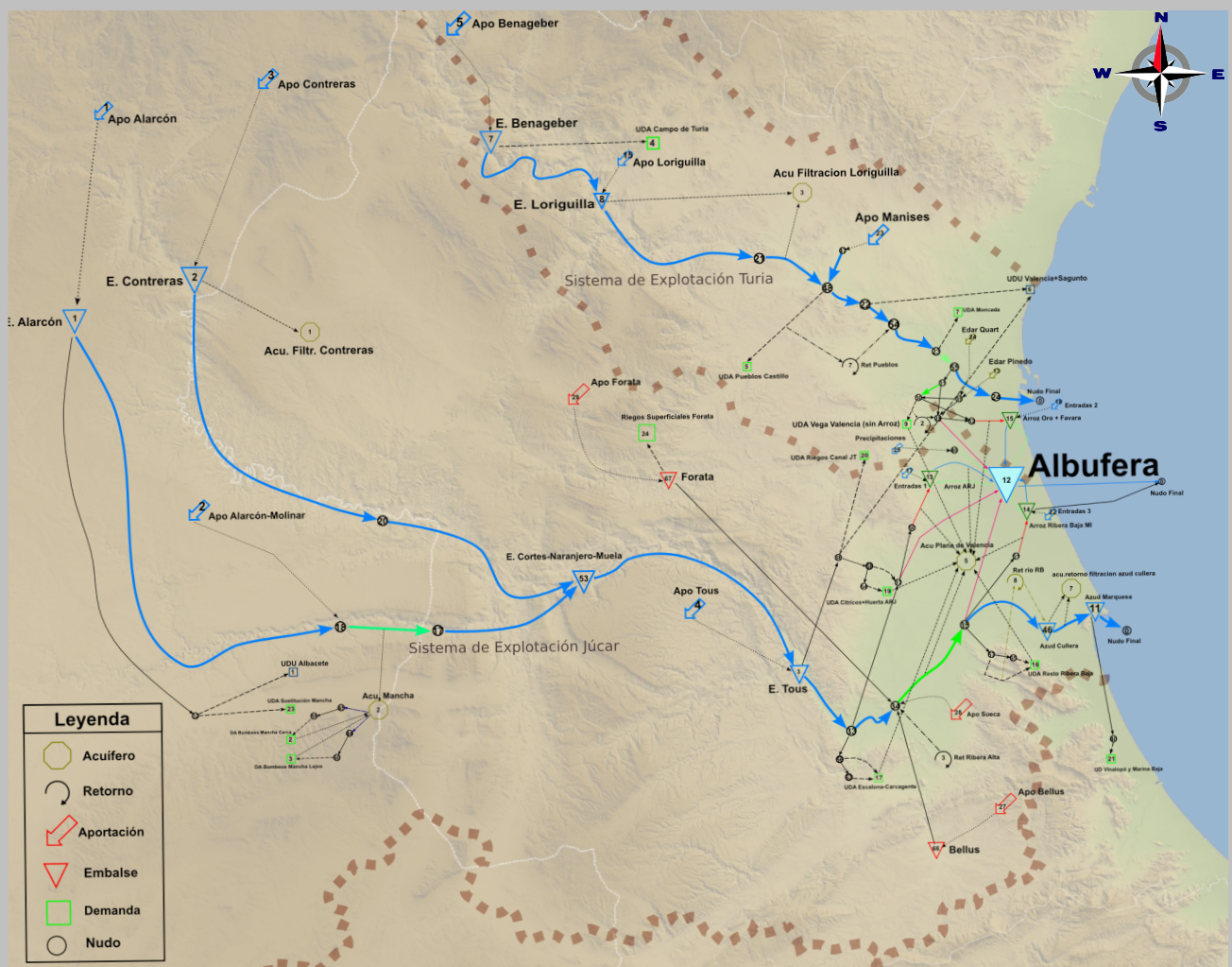


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



TRABAJO FINAL DE GRADO GRADO EN INGENIERÍA DE OBRAS PÚBLICAS



Estudio de identificación y evaluación de medidas para la minimización del riesgo de sequías futuras en el sistema Júcar - Turia

Hidrología y Medio Ambiente

Curso 2013/2014

Valencia, Julio de 2014

Autora: **Zohara Ayari Castelló**
Tutor: **Abel Solera Solera**
Cotutor: **David Haro Monteagudo**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA DE OBRAS PÚBLICAS

Estudio de identificación y evaluación de medidas para la minimización del riesgo de sequías futuras en el sistema Júcar - Turia

Autora: **Zohara Ayari Castelló**
Tutor: **Abel Solera Solera**
Cotutor: **David Haro Monteagudo**

A mi familia, por apoyarme.
A David y Abel, por vuestra disponibilidad y ayuda.
A lxs chicxs de la Pecera, por facilitarme la estancia.

RESUMEN

En la actualidad las sequías son un problema recurrente de suma importancia. Especialmente en territorios como el ámbito de la Confederación Hidrográfica de Júcar, situada en la vertiente mediterránea de la Península Ibérica, que se caracteriza por sufrir eventos extremos de sequía.

Dentro de dicha Confederación, las cuencas de los ríos Júcar y Turia cobran vital importancia debido al estrecho margen entre recursos y demandas. Si a esto se le suma la incertidumbre hidrológica del clima mediterráneo y los efectos producidos por el cambio climático, nos encontramos ante un panorama en el que se hace necesario elaborar un plan especial de sequías con el fin de anticiparse a la ocurrencia de este fenómeno.

Este plan de sequías consiste en la elaboración de una serie de medidas orientadas a minimizar el impacto de la sequía sobre los diferentes usos del agua. En base a una de las medidas propuestas en el informe del Plan Especial de Sequía de la Confederación Hidrográfica del Júcar, realizado después de la sequía registrada en el periodo 2004 - 2008, se ha creado una herramienta que es capaz de generar escenarios futuros de estado y de evolución de las reservas de agua a corto plazo, a partir de series de aportaciones históricas y de estados iniciales de volúmenes en embalses, tanto en el sistema de explotación Júcar como en el sistema de explotación Turia. Mediante la introducción de las variables correspondientes al periodo 1980/81 - 2004/05 se generan escenarios futuros en el año hidrológico 2004/05, caracterizado por ser el inicio de la última sequía registrada en el ámbito de estudio y cobrar especial interés en determinar cual sería la anticipación que se obtiene mediante el uso de esta herramienta en el sistema Júcar - Turia.

La nueva metodología propuesta basada en la herramienta Aquatool, se analiza, calibra y valida con la metodología existente empleada por los organismos de cuenca, especialmente el Plan Especial de Sequías de la Confederación Hidrográfica del Júcar, para determinar si cumple con los objetivos propuestos.

Otra de las medidas propuesta es la creación de un sistema conjunto de explotación Júcar - Turia en el que se aplica la metodología, en lugar de la utilización del sistema Júcar de forma independiente al sistema Turia, ya que en la práctica ambos sistemas trabajan de forma conjunta tanto en el abastecimiento a la ciudad de Valencia como al parque natural de L'Albufera. Así mismo, en la última sequía registrada ya se gestionaron las demandas teniendo en cuenta la disponibilidad real del sistema conjunto Júcar - Turia.

Índice

1.- <i>Introducción y Objetivos</i>	1
2.- <i>La Demarcación Hidrográfica del Júcar</i>	21
3.- <i>Las sequías en el río Júcar y en el río Turia: Pasado y Futuro</i>	38
4.- <i>Propuesta de nuevas actuaciones y recomendaciones</i>	48
5.- <i>Metodología y Modelos a aplicar</i>	57
6.- <i>Propuesta metodológica en la evaluación de riesgos</i>	68
7.- <i>Conclusiones y Líneas futuras</i>	83
8.- <i>Referencias</i>	85

Anejos

A1.- <i>Resultados del módulo Sínges</i>	89
A2.- <i>Resultados del módulo Mashwin</i>	94
A3.- <i>Resultados del módulo Simrisk</i>	107
A4.- <i>Datos iniciales en la simulación</i>	112

Índice Detallado

1.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1.- El agua	1
1.2.- Importancia de la sequía	2
1.2.1.- Definición de sequía	2
1.2.2.- Tipos de sequía	2
1.2.2.1.- Sequía meteorológica	3
1.2.2.2.- Sequía hidrológica	3
1.2.2.3.- Sequía agrícola o hidroedáfica	3
1.2.2.4.- Sequía socioeconómica	3
1.2.2.5.- Sequía operativa	4
1.2.3.- Diferencias entre sequía, aridez, y/o escasez	4
1.2.4.- La sequía en distintas regiones	4
1.2.4.1.- La sequía en el mundo	4
1.2.4.1.1.- África	6
1.2.4.1.2.- Europa y América del Norte	6
1.2.4.1.3.- Asia y el Pacífico	7
1.2.4.1.4.- América Latina y el Caribe	8
1.2.4.1.5.- Región de Asia árabe y occidental	8
1.2.4.2.- La sequía en España	9
1.2.4.3.- La sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar	10
1.3.- Indicadores de la sequía	12
1.4.- Medidas que minimizan el riesgo	15
1.4.1.- Medidas orientadas a la oferta	17
1.4.2.- Medidas orientadas hacia la demanda	17
1.4.3.- Medidas para minimizar los impactos de la sequía	18
1.5.- Evaluación del riesgo	18
1.6.- Objetivo del Trabajo de Fin de Grado	20
2.- LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR	21
2.1.- Descripción de la Demarcación Hidrográfica del Júcar	21
2.1.1.- Situación geográfica	21

2.1.2.- Rasgos geomorfológicos	22
2.1.3.- Litología	24
2.1.4.- Clima	25
2.1.5.- Marco biótico	27
2.2.- Los sistemas de explotación	30
2.2.1.- Descripción del sistema de explotación Turia	31
2.2.2.- Descripción del sistema de explotación Júcar	33
2.1.3.- Recursos hídricos del sistema Júcar - Turia	36
3.- LAS SEQUÍAS EN EL RÍO JÚCAR Y EN EL RÍO TURIA: PASADO Y FUTURO	38
3.1.- Análisis de la sequía histórica 1983/84 - 1985/86	38
3.2.- Análisis de la sequía histórica 1992/93 - 1995/96	40
3.3.- Análisis de la sequía histórica 1997/98 - 2000/01	42
3.4.- Análisis de la sequía histórica 2000/01 - 2008/09	44
3.5.- Situación de los futuros años	46
4.- PROPUESTA DE NUEVAS ACTUACIONES Y RECOMENDACIONES	48
4.1.- Propuesta de nuevas actuaciones del PES	48
4.2.- Recomendaciones del PES para solventar los problemas y afrontar la próxima sequía	48
4.2.1.- Actuaciones de previsión y seguimiento de la sequía	48
4.2.1.1.- Mejora en el sistema de indicadores de sequía y revisión de umbrales	48
4.2.1.2.- Mejora del protocolo de Vigilancia Ambiental	49
4.2.1.3.- Definición de horquillas de suministro en el escenario de Alerta y de Emergencia	50
4.2.1.4.- Realización del Inventario de Infraestructuras para la sequía	50
4.2.1.5.- Informe mensual del estado de la cuenca con previsiones trimestrales	50
4.2.1.6.- Desarrollo de las mejoras de monitoreo necesarias en la cuenca para la sequía	51
4.2.1.7.- Otras actuaciones	51
4.2.1.8.- Inclusión de los aspectos relacionados con posibles cambios en el clima	52
4.2.2.- Actuaciones encaminadas a la preparación de un nuevo episodio de sequía	52
4.3.- Programa de medidas adoptado por la CHJ	54
4.4.- Propuesta de nuevas actuaciones en el TFG	55
5.- METODOLOGÍA Y MODELOS A APLICAR	57
5.1.- Elaboración y Validación de un Modelo de Simulación de la Gestión	60
5.2.- Elaboración, Calibración y Validación del Modelo Estocástico de Aportaciones	64

5.3.- Generación de Múltiples Series Multivariadas y condicionadas	64
5.4.- Simulación Estocástica Implícita de la evolución del sistema	65
5.5.- Análisis de los resultados de la simulación y estimación de la situación	66
6.- PROPUESTA METODOLÓGICA EN LA EVALUACIÓN DE RIESGOS	68
6.1.- Antecedentes	68
6.2.- Propuesta	71
6.3.- Validación	74
6.4.- Ejemplos en otros años	78
6.4.1.- Ejemplo: Turia 1999/00	79
6.4.2.- Ejemplo: Júcar 1996/97	80
6.4.3.- Ejemplo: Júcar - Turia 2004/05	81
7.- CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	83
7.1.- Conclusiones	83
7.2.- Líneas futuras	84
8.- REFERENCIAS	85
ANEXOS	88
ANEXO 1: RESULTADOS DEL MÓDULO SIMGES	89
A1.1.- Aportaciones históricas	89
A1.2.- Embalses	92
A1.3.- Demandas	93
ANEXO 2: RESULTADOS DEL MÓDULO MASHWIN	94
A2.0.- Pasos previos	95
A2.1.- Pasos del programa Mashwin	97
A2.1.1.- Nivel 1 → Aportaciones históricas	97
A2.1.2.- Nivel 2 → Normalización mensual	98
A2.1.3.- Nivel 3 → Tipificación mensual	99
A2.1.4.- Nivel 4 → Calibración mensual	99
A2.1.5.- Nivel 5 → Validación mensual	100
A2.2.- Calibración	103
A2.2.1.- Normalización → Test del Sesgo	103
A2.2.2.- Estandarización de Fourier → medias = 0, varianza = 1	104
A2.2.3.- Dependencia temporal y espacial → Límites de Anderson	104
A2.2.4.- Inclusión de las EDARs en el programa	105

A2.3.- Generación	106
ANEXO 3: RESULTADOS DEL MÓDULO SIMRISK	107
A3.1.- Probabilidad de fallo del nivel de suministro	107
A3.2.- Probabilidad de estado por nivel	108
A3.3.- Volumen con probabilidad de no excedencia dada	109
A3.4.- Probabilidad de estado por debajo de un determinado volumen	110
A3.5.- Elección de la longitud de las series	111
ANEXO 4: DATOS INICIALES EN LA SIMULACIÓN	112
A4.1.- Volúmenes de embalses iniciales	112
A4.2.- Aportaciones iniciales	112

1.- Introducción y Objetivos

1.1.- El agua

El agua se compone únicamente dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno, algo muy sencillo pero a su vez tan vital que sin él no sería posible la existencia de vida. Todas las formas de vida del planeta dependen de ella y contribuye a la formación de los distintos ecosistemas.

Mundialmente, su distribución no es homogénea. En algunas zonas es abundante y, por el contrario, inexistente en otras. Además, según la dinámica del ciclo hidrológico, el recurso será más o menos disponible en función de los procesos de evaporación, precipitación, transpiración e infiltración, que dependen del clima, de las características del suelo, de la vegetación y de la ubicación geográfica, así como de las actuaciones del hombre.

Pese a tener aproximadamente dos terceras partes del mundo cubiertas por agua, no toda ella es apta para el consumo humano y no toda la población mundial tiene acceso a este recurso. Sin embargo, su existencia es necesaria para el desarrollo económico y social mediante actividades como la agricultura, ganadería, industria, obtención de energía, ocio, etc.

Del volumen total de agua en el planeta, el 97,5 % es salada y está contenida en los mares y los océanos. Tan solo el 2,5 % restante es agua dulce y de ese porcentaje la mayor parte está congelada.

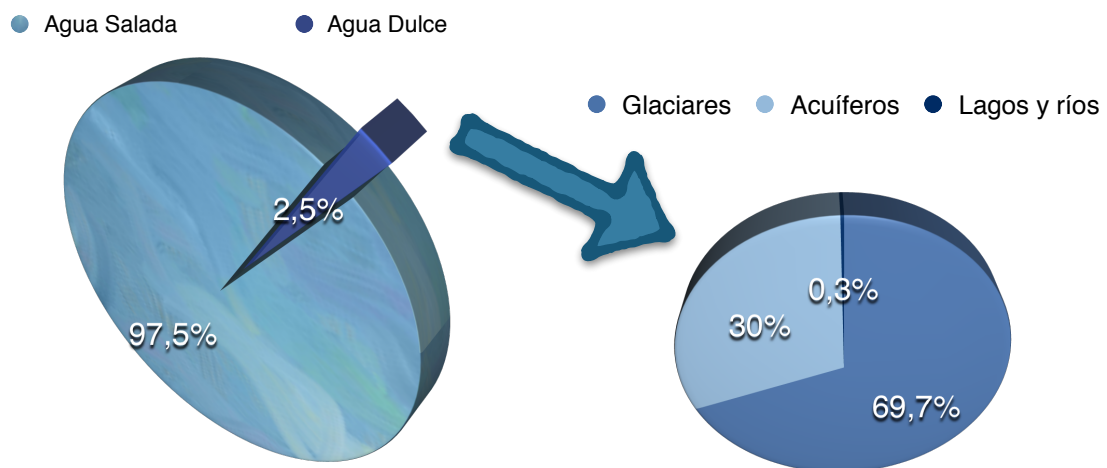


Ilustración 1: Volumen total de agua en el planeta. Fuente: D. Espín (2010).

Es un hecho que la cantidad de agua dulce en el planeta es muy pequeña y si se tiene en consideración que las actuaciones antrópicas han estado alterando el ciclo del agua para satisfacer las crecientes demandas de la industria, la producción de alimentos y las necesidades de la población, se hace patente la necesidad de mejorar el aprovechamiento de este recurso.

1.2.- Importancia de la sequía

1.2.1.- Definición de sequía

Se define sequía como el tiempo seco de larga duración. Se trata de una anomalía transitoria en el tiempo que suele caracterizarse en términos de precipitación o de aportación fluvial en determinados periodos de tiempo, o en función de las reservas almacenadas en embalses. Otra definición sería "déficit de lluvias durante un período de tiempo prolongado en relación con la media estadística multianual de la región en cuestión". Las consecuencias de los períodos de sequía pueden llegar a ser catastróficas, especialmente cuando no existe capacidad de gestión de los recursos hídricos, llegando incluso a la destrucción gradual de la región.

La sequía tiene un carácter lento y progresivo, de forma que, cuando se manifiesta de manera evidente, normalmente ya se está inmerso en ella. Los factores a considerar para la caracterización son: el tiempo necesario para que se considere sequía, la proporción necesaria de reducción de la precipitación, el tipo de efecto considerado y el grado de afección del mismo.

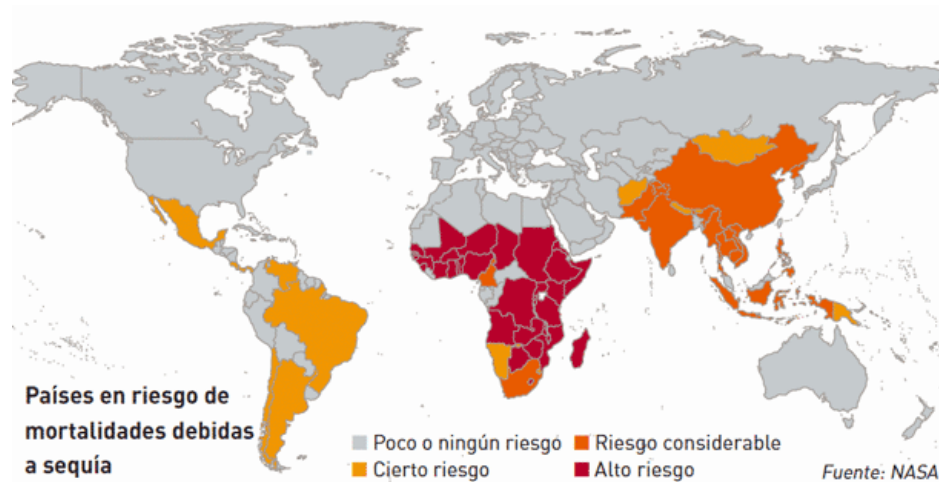


Ilustración 2: Países en riesgo de mortalidad por sequía. Fuente: NASA.

Se trata de un fenómeno natural que sucede en la mayoría de los países del mundo. Los episodios de sequía existentes en el mundo han llegado a ocasionar inseguridad alimentaria, hambrunas, malnutrición, epidemias y desplazamientos de poblaciones, además de haber tenido efectos económicos y medioambientales importantes, tanto en países en vía de desarrollo como en países desarrollados. Este hecho hace patente la vulnerabilidad de la sociedad ante este fenómeno de la naturaleza, que podría agravarse en el futuro si no se cambia la forma en la que se está utilizando ese recurso junto con los cambios que está produciendo el cambio climático.

1.2.2.- Tipos de sequía

Existen varios tipos de sequía en función de la forma en la que se producen y de las afecciones que conllevan, a continuación se explican detalladamente.

1.2.2.1.- Sequía meteorológica

Se produce principalmente cuando existe una escasez continuada de precipitaciones. Está relacionada con el comportamiento global del sistema oceánico y atmosférico, además de los factores antrópicos, como la deforestación o el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero.

En algunas ocasiones, la sequía meteorológica también puede implicar temperaturas más altas, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de la evapotranspiración, menor cobertura de nubes y/o mayor insolación.

A partir de ella se obtienen, como resultado, los restantes tipos de sequías. Su ámbito de afección son zonas de gran extensión.

1.2.2.2.- Sequía hidrológica

Aquella relacionada con periodos de caudales circulantes por los cursos de agua o de volúmenes embalsados inferiores a los niveles normales. Es la disminución en las disponibilidad es de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un plazo temporal dado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir totalmente las demandas de agua.

Este tipo de sequía tiene un desfase de varios meses en producirse desde que se inicia la sequía meteorológica, pero si las lluvias vuelven en poco tiempo no llega a producirse.

1.2.2.3.- Sequía agrícola o hidroedáfica

Se define como el déficit de humedad que no posibilita la producción agrícola con los valores esperados para una región determinada. Se da por consecuencia del impacto de las sequías meteorológica e hidrológicas en los rendimientos. Tiene lugar poco después de que ocurra la sequía meteorológica, ya que, su desfase depende de la capacidad de retención de humedad del suelo edáfico.

El déficit de humedad en el suelo, que está ligado a los efectos sobre la producción vegetal (agricultura y pastizales en ganadería), es frecuentemente denominado sequía edáfica. Es difícil de establecer ya que cada cultivo necesita una cantidad de agua diferente según la época del año, por lo que no es posible establecer umbrales de sequía agrícola válidos ni tan siquiera para un área geográfica.

1.2.2.4.- Sequía socioeconómica

Aquella que cuando se produce afecta a las personas o a la actividad económica. Siempre que algún sector económico se vea afectado por la escasez de agua se denominará sequía económica.

En los últimos años las necesidades de la actividad humana han aumentado y, por consiguiente, la sequía económica cada vez es más recurrente.

1.2.2.5.- Sequía operativa

Los sistemas hídricos de abastecimiento se ubican normalmente en cuencas desarrolladas, aquellas en las que existen mecanismos de regulación (transporte, almacenamiento superficial y extracción de aguas subterráneas), en las que el aprovechamiento de los recursos disponibles es máximo.

Los años en los que las aportaciones son superiores a las demandas el agua es almacenada, y por contra, los años en los que la demanda supera a los recursos disponibles se recurre al volumen almacenado.

De esta forma, se denomina fallo, a aquella situación en la que el sistema no es capaz de satisfacer una demanda y se denomina sequía operativa a aquella que se produce siempre que se esté en una situación de fallo del sistema.

Normalmente, la sequía operativa es una sequía hidrológica con una magnitud, duración e intensidad superior a lo normal, que a veces está provocada por la mala gestión de los recursos del sistema.

1.2.3.- Diferencias entre sequía, aridez, y/o escasez

En muchas ocasiones se confunde el concepto de sequía con el de aridez o con el de escasez de agua, por lo tanto se procede a definir los conceptos.

La **sequía** es una anomalía temporal de precipitación que puede producir, o no, una situación de insuficiencia en los suministros de agua en los sistemas de explotación del recurso.

La **escasez** representa una situación permanente de déficit en relación con la demandas de agua en un sistema de recursos de ámbito regional, caracterizado, bien por un clima árido o bien por un rápido crecimiento de las demandas consuntivas.

La **aridez** es una situación estructural natural de una región y por tanto permanente. Este fenómeno puede generar desertización del terreno.

1.2.4.- La sequía en distintas regiones

1.2.4.1.- La sequía en el mundo

En el mundo, ningún continente se libra ya de sufrir escasez de agua. Cerca de un quinto de la población mundial vive actualmente en áreas con problemas relacionados con la escasez de agua; sin embargo, el número de afectados va en aumento ya que 500 millones de personas se

están aproximando a esa situación y cerca de un cuarto de la población mundial carece de infraestructuras para transportar el agua superficial y subterránea.

A lo largo del último siglo, el consumo del agua se ha duplicado en relación al crecimiento de la población. Esta situación ha causado estrés hídrico en algunas regiones, sobre todo las que tienen carencia de agua.

Como se comentaba con anterioridad, en la escasez de precipitaciones interviene tanto la naturaleza como las actuaciones antrópicas (emisión de gases invernadero, tala de bosques, etc). La existencia de agua podría abastecer a toda a población si estuviera homogéneamente distribuida, exenta de contaminantes, gestionada de forma sostenible y si la población tuviera una correcta concienciación de su uso.

Los hidrólogos suelen evaluar la escasez observando la disponibilidad de agua de la población. Un área está experimentando estrés hídrico cuando los suministros anuales de agua bajan de 1.700 m³ por persona. Cuando los suministros anuales de agua son inferiores a 1.000 m³ por persona, la población se enfrenta a la escasez de agua, y por debajo de 500 m³ la escasez es absoluta (ONU - DAES, 2012).

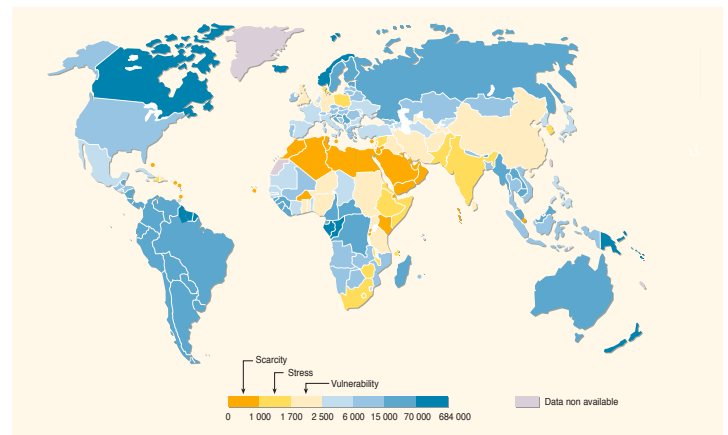


Ilustración 3: Disponibilidad de agua dulce (m³ anuales por persona, 2007). Fuente: UNEP/GRID-Arendal, 2008.

Según la ONU - DAES en el futuro se encontrarán los siguientes casos:

- En 2025, 1.800 millones de personas vivirán en países o regiones con escasez absoluta de agua y dos terceras partes de la población mundial podrían hacerlo en condiciones de estrés hídrico (ver Ilustración 4).
- Bajo el contexto actual de cambio climático, en el 2030, casi la mitad de la población mundial vivirá en áreas de estrés hídrico, incluidos entre 75 y 250 millones de personas de África. Además, la escasez de agua en áreas áridas o semiáridas provocará el desplazamiento de entre 24 y 700 millones de personas.
- En el África Subsahariana se concentrará el mayor número de países con estrés hídrico.

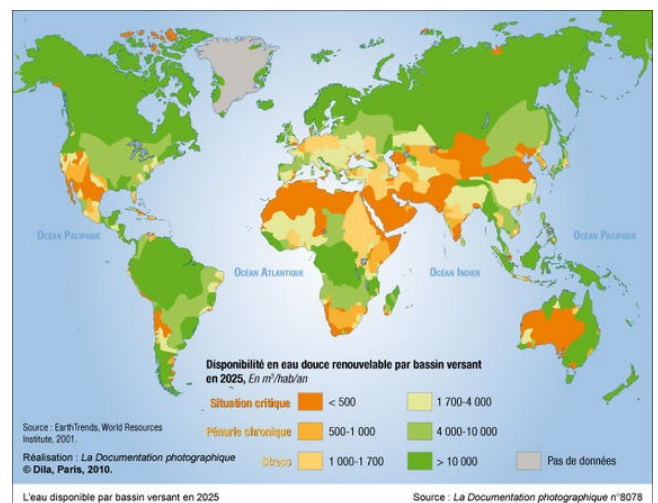


Ilustración 4: Previsión de disponibilidad de agua dulce (m³ anuales por persona) para el año 2025. Fuente: EarthTrends, 2001.

Los desastres naturales relacionados con el agua, plantean importantes obstáculos para el logro de la seguridad humana y el desarrollo socioeconómico sostenible. Las sequías han impactado significativamente la producción agrícola, lo que a su vez han contribuido al aumento de los precios de los alimentos. Estos aumentos tienen otros importantes impactos sociopolíticos que pueden conducir a consecuencias de largo alcance, como enfrentamientos por los alimentos y la inestabilidad política.

La escasez de agua puede causar conflictos de diversa intensidad y escala. Aunque los conflictos pueden aparecer localizados, presentan desafíos para el contexto más amplio de la paz y la seguridad. Los conflictos por los recursos de agua también pueden convertirse en conflictos étnicos. Una de las principales causas del agotamiento del recurso del agua es que se ha estado infravalorando como recurso. A continuación se analizan los impactos observados en distintas regiones del mundo.

1.2.4.1.1.- África

Dentro de África, el África subsahariana es la región donde más afecciones está teniendo por culpa de la sequía y de las inundaciones destructivas debidas al cambio climático. Dicha región se está enfrentando a bajos niveles de cobertura de agua potable y de saneamiento, produciendo una inseguridad alimenticia, la destrucción de los medios de vida económicos y consiguiendo que se enfrente a la pobreza endémica. Además, debido al subdesarrollo generalizado no se lleva un uso sostenible de los recursos de agua disponibles.

Las inundaciones también son altamente destructivas, sobre todo para la infraestructura, el transporte y los bienes; pueden contaminar los suministros de agua y causar epidemias de enfermedades transmitidas por el agua.

En el resto del continente Africano ha sufrido la reducción de lluvias de forma tan alarmante que millones de personas se encuentran en peligro por falta de agua o por hambre. Esta causa afecta principalmente los tres extremos africanos: el oriental (con Etiopía y Eritrea), el occidental (Mauritania), y el Sur del continente (con Malawi, Zimbawe, Zambia y Mozambique), donde la sequía ha perjudicado seriamente las cosechas y el ganado.

Sin embargo, si bien la sequía ha sido la causa principal de la crisis alimentaria que sufren muchos países africanos, las causas reales son complejas y varían de un país a otro. Reflejan una mezcla de pobreza, gobernabilidad pobre y corrupta y unas determinadas condiciones sociales y económicas. La sequía no tiene porqué conllevar inevitablemente la hambruna, y prueba de ello es que una sequía de características similares en otro punto como Europa no tiene las mismas consecuencias que en África (D. Castells, 2003).

1.2.4.1.2.- Europa y América del Norte

Los estilos de vida relativamente acomodados de la mayoría de los europeos y los norteamericanos hacen que se realicen grandes demandas de recursos hídricos de la región. Los norteamericanos son los usuarios que más agua gastan por habitante, gastando alrededor

de 2 veces y media más que los europeos por habitante, una de las razones de ello es que el agua es relativamente económica.

Sin embargo, no toda la población tiene acceso al agua potable de forma segura, ya que, alrededor de 120 millones de personas en la región Europea no tienen acceso a la misma y carecen de servicios de saneamiento, lo que se transforma en enfermedades relacionadas con el agua.

Otro problema al que se enfrentan la región es el relativo a la calidad de las aguas. Se ha comprobado que en algunas aguas existen compuestos como nitrógeno, fósforo y pesticidas. La Directiva Marco del Agua del 2000 de Europa es la legislación comunitaria mas importante sobre el agua encargada de limitar dichos compuestos y profundizar en la gestión de las aguas transfronterizas (WWDR4, 2012).

1.2.4.1.3.- Asia y el Pacífico

La región de Asia y el Pacífico son extremadamente dinámicas, experimentando una rápida urbanización, un alto crecimiento económico, una gran industrialización y un amplio desarrollo agrícola. Aunque estas tendencias son deseables en muchos aspectos, están consiguiendo afectar a la capacidad de la región para hacer frente a las necesidades de desarrollo socioeconómico del agua. Debido al uso intensivo de los recursos y a la presión ejercida, se está afectando a los ecosistemas acuáticos consiguiendo que se deterioren de manera significativa. Además, la seguridad alimentaria es un tema importante ya que alrededor de dos tercios de la población de Asia sufren de hambruna.

La región de Asia con el Pacífico es la región más vulnerable del mundo con respecto a los desastres naturales, que afectan al desarrollo económico en diferentes grados. Gran parte del crecimiento económico, que se genera en las zonas costeras con alta densidad de población, son áreas propensas a las inundaciones, sobre todo a los tifones y a las tormentas de lluvia. Las recientes condiciones extremas meteorológicas han costado la vida a cientos de personas, obligado a miles de familias a dejar sus hogares y dañado gravemente la agricultura, lo que ha incrementado el peligro de escasez de alimentos.

Pequeños estados insulares en desarrollo del Pacífico son particularmente vulnerables a los peligros naturales y ambientales, tales como ciclones tropicales, tifones y terremotos. Además, el cambio climático exacerbará aún más su vulnerabilidad debido al aumento del nivel del mar, al riesgo de mareas de tempestad y a la erosión de las playas.

La región está cambiando la forma de la planificación, pasando de apostar por beneficios a corto plazo como el desarrollo rápido de las infraestructuras del agua a un nuevo concepto de beneficios más estratégicos, a largo plazo, que tienen en cuenta la eficiencia ecológica en el desarrollo económico (WWDR4, 2012).

1.2.4.1.4.- América Latina y el Caribe

América Latina y el Caribe son unas regiones que se caracterizan por ser húmedas, pero en las que podemos encontrar algunas zonas muy áridas. El patrón de uso del agua en ambas regiones puede ser descrito como espacialmente esporádico y muy concentrado en relativamente pocas áreas.

Con las excepciones de México, Brasil y algunos de los pequeños países de América Central, las economías de ambas regiones dependen de la exportación de recursos naturales. La demanda mundial de estos productos, que incluyen minerales, alimentos, productos agrícolas, madera, pescado y servicios turísticos; se ha incrementado notablemente en los últimos años. Esto tiene implicaciones para la competencia la demanda de agua y la exportación de agua virtual¹.

Aunque la mayoría de los países de la región disfrutan de altos niveles de cobertura de los servicios de agua y saneamiento, hay una gran variación en la calidad de los servicios e importantes diferencias entre las zonas rurales, urbanas y entre los países.

Casi 40 millones de personas aún carecen de acceso a agua potable y aproximadamente 120 millones no tienen acceso a instalaciones de saneamiento adecuadas. La mayoría de los que no tienen acceso a los servicios son pobres y viven en zonas rurales.

En general, la mala gestión del agua en muchos países de la región provocará mayor riesgo en los impactos producidos por el cambio climático en los países más pobres de la región de América Central, el Caribe y los Andes (WWDR4, 2012).

1.2.4.1.5.- Región de Asia árabe y occidental

Debido al crecimiento demográfico, a los conflictos regionales, a las actuaciones de los gobiernos y a la migración de la población se han aumentado los riesgos asociados con la cantidad y calidad del agua; sin embargo, se ha apostado por una gestión sostenible en la que los recursos que se comparten se hacen mediante exitosas políticas para promover el desarrollo rural y la seguridad alimenticia.

La sequía en Asia puede ser más severa que la que se vive en el Cuerno de África, que ha provocado una grave crisis humanitaria por la falta de agua y alimentos. Las agencias especializadas de la ONU estiman que la sequía afectará de una u otra forma a unos 60 millones de personas, en una zona que va desde Jordania y Siria a India y en la que se encuentran países con elevada población como son Irak, Irán, Afganistán, Tayikistán y Pakistán.

La escasez de agua se transforma en una inseguridad alimentaria en la región árabe; por eso, se ha fomentado el interés en las inversiones agrícolas fuera de la región para producir alimentos que se ha traducido en un aumento de la importación de agua virtual. El conflicto violento también ha destruido la infraestructura del agua en diferentes momentos en Beirut, Kuwait y Líbano, lo que requiere la rehabilitación en vez de la expansión de la entrega.

¹ Cantidad de agua utilizada de modo directo e indirecto para la realización de un bien, producto o servicio.

Alrededor del 66% del agua superficial disponible de la región árabe proviene de fuera de la región; hecho que ha supuesto conflictos entre los diferentes países implicados. Los conflictos por el agua a nivel local también pueden existir entre los distritos administrativos, las comunidades y tribus.

1.2.4.2.- La sequía en España

Existen numerosas evidencias históricas de sequías en España. Los primeros datos meteorológicos se miden en el siglo XVII, pero es a mediados del XIX cuando se registran oficialmente en España. En el siglo XX se empieza a disponer de una red de estaciones lo suficientemente densa y sistemática.

Las sequías que padece España son cada vez más intensas y largas, según un estudio del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el que se ha analizado la evolución de los déficit hídricos en la Península Ibérica entre 1945 y 2005.

De las 187 cuencas de drenaje estudiadas por el CSIC, las sequías más intensas y de mayor duración (catalogadas por encima de los cinco años) se concentran en el centro y el sur peninsular; concretamente en el Tajo, el Júcar, el Guadiana y el Guadalquivir. Las sequías extremas han mantenido un perímetro de afección relativamente constante; por otra parte, las sequías moderadas atacan cada vez a una superficie mayor en el terreno.

Algunas actividades económicas, como la producción de energía hidroeléctrica y el regadío, soportan una gran dependencia respecto del caudal disponible. El instituto CSIC considera que *"la cada vez más recurrente sucesión de episodios de sequía en la Península Ibérica puede resultar en una mayor vulnerabilidad de la sociedad ante este riesgo natural"*, y también cita que *"La evaluación y caracterización de las sequías hidrológicas históricas resulta esencial para la gestión hídrica"*. La aplicación de la información de estos estudios en planes de gestión puede reducir significativamente los impactos derivados de los episodios de sequía.

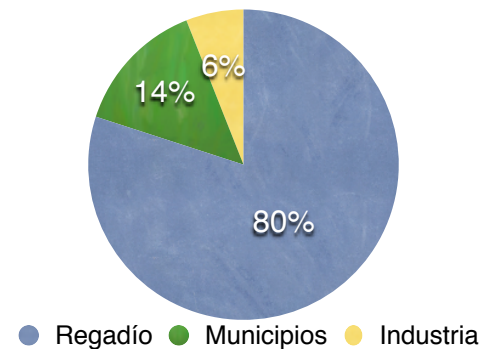
Otro de los problemas tiene la región es que la disponibilidad del agua de los ríos es muy pequeña debido a las grandes diferencias de caudal entre las estaciones junto con el régimen torrencial. Esto hace que sea muy complicado su aprovechamiento. Para poder solventar este problema se han construido embalses que almacenan agua en las épocas de lluvia y regulan el caudal del río, para evitar las inundaciones y poder así aprovechar para la obtención de energía hidroeléctrica. La capacidad de embalse es en la actualidad superior a 50.000 Hm³ al año, lo que da una disponibilidad de agua de unos 2.800 m³ por persona al año; esta disponibilidad es mayor que la media de la Unión Europea.

Si en España no existiera una capacidad de gestión de los Recursos Hídricos, las sequías se transformarían en un desastre natural; pero, gracias a las sequías que ha pasado nuestra región, ha supuesto una gran experiencia para la creación y ejecución de los actuales y futuros planes de sequía.

Los impactos que se han producido a lo largo de los años han sido notables en la agricultura, las plantaciones forestales, la ganadería, la industria y en los ecosistemas asociados a las masas

de agua. Debido a las afecciones producidas, se ha acelerado en la elaboración de planes de gestión ante las sequías, cuyo objetivo es el de minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de la región.

Aproximadamente el 80% del agua consumida en España se emplea para el regadío, alrededor del 14% es consumida por los municipios y un 6% por la industria. Se necesita una gran parte de agua en la agricultura ya que es la parte más rentable de España, es por ello que España sea uno de los mayores consumidores de agua en el mundo. En cualquier política que busque un uso sostenible del agua en la península deberá analizar los sistemas de riego, para poder implantar los sistemas más eficientes en las tierras en regadío.



La proporción de agua consumida por la población en España es muy similar a la normal en los países desarrollados. En el suministro de agua a ciudades e industrias uno de los principales problemas es el de las pérdidas en las cañerías de distribución que, en bastantes lugares, son de más del 50% del agua repartida. De hecho las restricciones de agua que se suelen dar en algunas ciudades en las épocas de escasez, no son tanto por el agua consumida por los habitantes, sino para evitar las pérdidas en las canalizaciones (Universidad de Navarra, 2014).

1.2.4.3.- La sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar

La Confederación Hidrográfica del Júcar se caracteriza por ser una región con sequías frecuentes y prolongadas que, en ocasiones, ponen en peligro el suministro de agua para abastecimiento y riego. Es por ello que surge la necesidad de establecer medidas preventivas adecuadas; además, no sólo el abastecimiento se ve afectado, sino que el medioambiente y los ecosistemas pueden sufrir sus consecuencias por la escasez de los caudales circulantes en los cauces y por el empeoramiento de la calidad de las masas de agua.

La última sequía de la región, correspondiente al periodo 2005 - 2008, en el que el año hidrológico 2005/06 fue el más crítico del periodo, tuvo repercusiones tanto en la cuenca del río Júcar, en la que se llegaron a agotar las reservas, como en la cuenca del río Turia, en la que sus reservas se redujeron drásticamente.

Debido a ello, el Plan Hidrológico Nacional estableció unas bases de gestión planificada de las sequías mediante un sistema global de indicadores y la obligación de que los Organismos de cuenca elaboraran planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual de sequía, incluyendo reglas de explotación de los sistemas y medidas a aplicar. La Confederación Hidrográfica del Júcar desarrolló el Plan Especial de actuación frente a situaciones de alerta y eventual Sequía, conocido como *Plan Especial de Sequía* (PES).

El objetivo general del PES es el de minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales, generados en situaciones de eventual sequía (Estrela y Vargas, 2012). Este objetivo general se persigue a través de los siguientes objetivos específicos:

- Garantizar la disponibilidad de agua requerida para asegurar la salud y la vida de la población.
- Evitar o minimizar los efectos negativos de la sequía sobre el estado ecológico de las masas de agua, en especial, sobre el régimen de caudales ecológicos, evitando, en todo caso, efectos permanentes sobre el mismo.
- Minimizar los efectos negativos sobre el abastecimiento urbano.
- Minimizar los efectos negativos sobre las actividades económicas, según la priorización de usos establecidos en la legislación de aguas y en los planes hidrológicos.

El plan establece un sistema de indicadores que permita prever situaciones de sequía y valorar la gravedad con que se presentan, así como, servir de referencia general para la declaración formal de situaciones de sequía y para la valoración del estado hidrológico de los sistemas de explotación.

Los indicadores seleccionados están relacionados con las áreas de generación de recursos para atender las principales demandas en la cuenca, habiéndose considerado las siguientes tipologías:

- Volumen almacenado en embalses superficiales.
- Niveles piezométricos en acuíferos.
- Aportaciones fluviales en régimen natural.
- Pluviometría areal.

En la Ilustración adjunta se muestra la localización geográfica de los 34 indicadores que incluye el sistema.



Ilustración 5: Localización de los indicadores del sistema de alerta y previsión de las sequías de la CHJ.
Fuente: Plan Hidrológico de Cuenca, 2013.

1.3.- Indicadores de la sequía

La implantación de indicadores de sequía surgen de la necesidad de anticipación, de prevención de la sequía considerándola como un riesgo más y no de una crisis pasajera. Existen dos factores que posibilitan la anticipación y prevención, vienen determinados por la duración prolongada y por la lenta velocidad de implantación, determinando un déficit hídrico y permitiendo que, en ese desfase, se realicen medidas de ajuste con la finalidad de minimizar los impactos negativos.

La creación de un sistema global de indicadores sirve para minimizar los impactos ambientales, económicos y sociales de los eventuales episodios de sequía. Gracias a ellos es posible prever las situaciones, además de servir de referencia general a los Organismos de cuenca para la declaración formal de situaciones de alerta y eventual sequía.

A la hora del establecimiento de los indicadores, no sólo se establece un único sistema, sino que se establecerán cuatro:

- Indicador de sequía (natural).
- Indicador de escasez de agua (sequía operativa).
- Indicador de peligrosidad.
- Indicador de fragilidad.

Gracias a ellos se pueden justificar los parámetros de calidad de las aguas, el estado ecológico de los ríos o incluso servir como instrumento de ayuda a la hora del establecimiento de primas a pagar para los seguros relativos a las indemnizaciones causadas por las sequías.

Es necesario que los indicadores sean homogéneos y que puedan aplicarse a todo el país para que así los distintos Organismos puedan comparar sus indicadores y actuar de manera más eficiente en la mitigación de la sequía. Además, deben ser cómodos y tener un manejo fácil para que cualquier persona pueda interpretarlos.

A continuación se expondrán unos principios generales a seguir, así como recomendaciones para los cuatro indicadores anteriormente expuestos (M. F. Pita, 2007).

Indicadores de sequía (natural)

Deben estar diseñados para medir la dimensión de la sequía como fenómeno natural, sin tener en cuenta los efectos de la acción antrópica. Las variables más utilizadas son la precipitación, la aportación o la escorrentía, siendo la precipitación la que se usa principalmente. En ningún caso se introducirán variables en las que se refleje la intervención humana, como por ejemplo los volúmenes embalsados.

Deben elaborarse mediante parámetros que expresen la anomalía de la situación en comparación con el estado normal o habitual. Siendo que el escenario se encuentra en la vertiente mediterránea, caracterizada por elevada variabilidad pluviométrica, se usará como parámetro de tendencia central la mediana, ya que la media está muy sesgada por los valores

extremos y da como resultado valores incorrectos al sobrevalorar la lluvia, produciendo así anomalías pluviométricas negativas.

Es esencial que los indicadores sean capaces de reflejar los aspectos más definitorios de la sequía y que se adapten a los distintos impactos que puedan generar. Los aspectos a destacar son los de intensidad y duración. Los parámetros a tener en cuenta en los diferentes tipos de sequía son los siguientes:

Tipos de sequía	Parámetro a controlar
Meteorológica	Pluviometría
Hidroedáfica	Evapotranspiración potencial y real, precipitación, déficit de agua en el suelo
Hidrológica	Aportaciones y/o Escorrentía

Gracias a este indicador se puede prever la aparición del riesgo y poner en marcha el plan de actuación correspondiente. Se deberán revisar periódicamente los parámetros a controlar.

Indicadores de escasez de agua o de sequía operativa

En este apartado, las actuaciones antrópicas juegan un papel muy importante pero, en algunas ocasiones, puede ser debido como consecuencia de una sequía de determinada intensidad.

Los indicadores deben ser capaces de medir las dificultades existentes para satisfacer las demandas de agua. La variable principal será el balance que exista entre los recursos hídricos disponibles y las demandas de agua. Como los parámetros de precipitación, aportación y escorrentía tienen un comportamiento aleatorio deberán preverse a partir de probabilidades.

Los parámetros que se utilicen no deben estar basados en los datos actuales ni pasados, sino que deben tener una visión del futuro. No interesa saber si se está o se estuvo en una situación crítica, lo que se necesita saber es si va a ser posible satisfacer las demandas futuras.

Este indicador, permite tomar medidas para garantizar los suministros de agua y ser un instrumento de precisión y gestión de los recursos hídricos, principalmente en situaciones de emergencia.

Deberá tener un seguimiento continuo en el tiempo a escala semanal o mensual junto con revisiones periódicas frecuentes.

Unión de los indicadores de escasez y sequía

Una vez obtenidos los indicadores de escasez si se unen a los de sequía, sin compararlos entre sí, constituyen unos buenos indicadores de la eficiencia en la gestión del agua en el territorio. Los casos posibles son los siguientes:

Resultado	Indicador de Sequía	Indicador de Escasez
Buena gestión del agua: Gran capacidad de afrontar una sequía	Desfavorable	Muy favorable
Mala gestión del agua: Poca capacidad de afrontar una sequía	Muy favorable	Desfavorable
Situación normal	Favorable	Favorable
Situación difícil	Desfavorable	Desfavorable

Indicadores de peligrosidad

La peligrosidad ocurre de forma natural debido a tres rasgos en el clima que intervienen en la aparición de periodos secos de larga duración. Los rasgos que la intensifican son los siguientes:

- *La aridez:* en función de la reducción en la capacidad para afrontar una pluviometría negativa.
- *Precipitaciones irregulares:* entre mayor sea la irregularidad más difícil será la correcta gestión de las masas de agua.
- *Persistencia de la situación seca:* entre más persistente más problemas se generarán en la región.

Entre mayor sea la peligrosidad de un territorio mayores precauciones se deberán tomar sobre la gestión del agua y la prevención de la sequía.

Los indicadores serán valores fijos y estáticos característicos de la cuenca y de los sistemas de abastecimiento. Deberán tener revisiones cada cierto tiempo para contrastar la validez de los indicadores y para tener presentes los cambios producidos por el cambio climático.

Indicadores de vulnerabilidad o fragilidad

La fragilidad expresa la vulnerabilidad de la sociedad como resultado de la exposición. Unos niveles altos de exposición implican una alta ocupación del suelo independientemente del uso o de la actividad. También se puede expresar como el porcentaje de exposición que podría producir daños como consecuencia de la sequía; deberá evaluarse en función de las pérdidas producidas en cada territorio.

El grado de fragilidad está relacionado con la elasticidad en la demanda de agua, la flexibilidad, la adaptabilidad o la capacidad de cambio en los distintos usos del territorio.

Deberá tener un seguimiento continuo a escala anual o bienal con revisiones anuales o bienales de la exposición, la vulnerabilidad y la presión sobre los recursos hídricos.

1.4.- Medidas que minimizan el riesgo

Según el rápido crecimiento demográfico de algunos países, junto con las consecuencias de las sequías, es cada vez más evidente la necesidad de tomar medidas para poder afrontar los episodios de sequías sin que se conviertan en una catástrofe. Una posible medida consistiría en desacelerar el crecimiento de la población con el fin de contener el aumento de la demanda de agua dulce y así llegar a niveles más sostenibles en relación con el suministro de agua dulce.

Antiguamente, los sistemas de recursos hídricos mitigaban los efectos de las sequías mediante la construcción de obras de regulación, la incorporación de nuevas fuentes de abastecimiento y con la explotación de acuíferos de forma temporal, sin embargo este tipo de medidas eran útiles para afrontar sequías de manera puntual a corto plazo. Hoy en día, las medidas de mitigación se hacen independientemente de la probabilidad de ocurrencia de la sequía, en la que el único objetivo es el de ser capaz de afrontar los episodios de sequía.

La definición de mitigación se puede resumir en el conjunto de actividades o medidas orientadas a la disminución de los impactos negativos producidos por las sequías. Se incluyen acciones de emergencia, preventivas, estratégicas y de largo plazo. Las medidas para mitigación deben ser tenidas en cuenta no sólo por parte de las instituciones y autoridades involucradas sino que también por los usuarios afectados de forma individual.

Las dificultades principales, a la hora de establecer las medidas de mitigación, son las mediciones de los impactos causados en términos objetivos de forma que sirvan para justificar la rentabilidad de las inversiones realizadas y las consecuencias que causan las sequías en los diferentes usuarios del sistema.

El Plan Especial de Sequías (PES) recopila una serie de medidas de mitigación más relevantes de diferente naturaleza y calado, según el sistema de explotación y de la severidad de la sequía. Las medidas más relevantes que propone en función del escenario son las siguientes:

Medidas en prealerta:

- Promover campañas de ahorro voluntarias de agua en el abastecimiento.
- Promover campañas de ahorro voluntarias de agua entre los regantes.
- Agilizar el desarrollo de nuevas infraestructuras de sequía ya planificadas.

Medidas en alerta:

- Incremento de las extracciones de aguas subterráneas.
- Recursos no convencionales: reutilización sostenible.
- Recursos no convencionales: máxima desalación estival.
- Reducción del volumen de agua superficial suministrada para el regadío.
- Ahorros en el volumen de agua superficial suministrada para el abastecimiento.
- Medidas de carácter ambiental: plan de Vigilancia.

Medidas en emergencia:

- Extracciones de aguas subterráneas: intensificar las extracciones.
- Recursos no convencionales: reutilización máxima.
- Recursos no convencionales: máxima desalación potencial.
- Suministros alternativos en abastecimiento.

- Restricción del volumen de agua superficial suministrada para el regadío.
- Restricción del volumen de agua superficial suministrada para el abastecimiento.
- Activación del Centro de Intercambio de derechos para asegurar el abastecimiento y para preservar el medio ambiente hídrico.
- Medidas de carácter ambiental: plan de policía y control del dominio público hidráulico.

Este sistema de prealerta y alerta se permite activar, con la suficiente antelación, las medidas de gestión que deben contribuir a minimizar los efectos de la sequía. Se dividen en tres tipos en función del nivel de sequía: medidas estratégicas (fases de normalidad y prealerta), medidas tácticas (fase de alerta) y medidas de emergencia (fase de emergencia):

- **Medidas estratégicas:** Orientadas a dar una respuesta a medio y largo plazo. Tienen carácter institucional e infraestructural; basadas en la legislación y con un alto coste de inversión. Se desarrollan en el escenario de normalidad, pues es el periodo adecuado para planificar y preparar las medidas que deben activarse en fases de menor disponibilidad de recursos.
- **Medidas tácticas:** Respuestas a corto plazo planificadas y validadas con anticipación en el marco del plan de sequía, activándose en las fases de prealerta y alerta. Tienen por finalidad conservar los recursos mediante mejoras en la gestión, uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas y ahorros voluntarios en las grandes unidades de consumo. Incluyen medidas, parámetros, procedimientos de decisión y forma de informar al público. En prealerta debe incrementarse la frecuencia del control y vigilancia de los indicadores de sequía. Conforme avanza la sequía puede ser necesario incorporar restricciones obligatorias en usos no esenciales y penalizar consumos excesivos.
- **Medidas de emergencia:** Respuesta a situaciones inesperadas. Suelen aparecer cuando las sequías son de duración mayor de la esperada o cuando aparece una catástrofe que necesita grandes recursos hídricos. Tienen por finalidad alargar el máximo tiempo posible los recursos disponibles, por lo que es necesario establecer restricciones a los usos menos prioritarios e incluso generalizar las restricciones en fases avanzadas.

Una vez superada la sequía, se deben prever las medidas necesarias para restaurar lo antes posible las masas de agua afectadas por la sequía. En cada uno de los escenarios de sequía, las medidas para la mitigación se pueden clasificar del siguiente modo:

TIPOLOGÍA DE LAS MEDIDAS DE MITIGACIÓN				
Escenario	Normalidad	Prealerta	Alerta	Emergencia
Objetivo	Planificación	Control-Ahorro	Conservación	Restricciones
Tipo de Medida	Estratégicas	Tácticas		Emergencia
Alcance de las medidas	a) Sobre la demanda, b) Sobre la oferta, c) Sobre el medio ambiente, d) De gestión			

Ilustración 6: Tipologías de las medidas de mitigación. Fuente: PES Júcar 2007.

Existe otra clasificación propuesta por Yevjevich et al. (1978) en la que clasifica las medidas estratégicas en tres diferentes grupos:

1.4.1.- Medidas orientadas a la oferta

Se trata de solventar los problemas causados por la sequía haciendo modelos más eficientes, disponiendo de reservas existentes, desarrollando fuentes de suministro y usando prácticas no convencionales para incrementar los recursos a suministrar.

- **Mejor aprovechamiento de las disponibilidades.** Se trata de medidas generales de gestión del agua para hacer un uso más eficiente de los recursos hídricos existentes mediante el uso del almacenamiento superficial y subterráneo, trasvases, e intercambios de agua entre cuencas. Como prácticas a llevar a cabo en el terreno, para mejorar la oferta mediante el ahorro del agua, se debe revestir o impermeabilizar los canales, controlar la vegetación acuática, conservar el suelo para aumentar su capacidad de infiltración, reducir la evaporación mediante una gestión de la escorrentía y aplicar prácticas de riego que ahorren agua. La mayoría de las medidas destinadas al ahorro del agua son económicas pero requieren considerar grandes áreas. La reutilización de las aguas residuales también proporcionan incrementos en la disponibilidad del agua.
- **Desarrollo de nuevas ofertas durante las sequías.** Este tipo de medidas sólo se utilizan durante los episodios de sequías. Como opciones posibles serían el uso de volúmenes muertos de embalses, desalinización del agua, lluvia artificial y el uso de aguas fósiles siempre que sea accesible económicamente y que cumpla con ciertos requisitos de calidad.

1.4.2.- Medidas orientadas hacia la demanda

El objetivo de las medidas orientadas hacia la demanda, para el control de la sequía, es hacer que los recursos existentes, sin importar su cantidad, sirvan a los usuarios de la manera más eficaz posible. Están orientadas a la reducción de los déficit, suponiendo que las restricciones legales y económicas lo permitan. Muchas de las reducciones de la demanda son impuestas por una oferta insuficiente. Para lograr un buen balance entre oferta y demanda el reajuste de precios podría ser un buen instrumento.

- **Medidas activas de reducción de la demanda.** Se trata de medidas destinadas a los usuarios mediante restricciones legales e incentivos económicos con el fin de reducir el consumo. La experiencia ha demostrado que los usuarios acaban adaptándose a la disminución de la oferta.
- **Medidas reactivas para reducir la demanda.** Se trata de una oferta reducida que únicamente deja la opción de que el usuario se adapte a ella. Como medidas pueden ser la reutilización de agua siempre que cumpla unos determinados parámetros de calidad y los ajustes de producción en las empresas para lograr un mejor uso del agua.
- **Determinación del impacto de las medidas orientadas a las demandas.** Para tener un menor impacto causado por las medidas es necesario informar a los usuarios para así obtener una mayor colaboración. Se usará el potencial de reducción de la demanda mediante una serie de restricciones y medidas, la reducción permanente a condiciones de sequía a corto plazo y el cambio en las condiciones ambientales y energéticas.

1.4.3.- Medidas para minimizar los impactos de la sequía

En este punto la oferta no puede ser incrementada y la demanda no acepta mayores restricciones, es por ello que surgen las medidas de minimización. Para la minimización de los impactos de la sequía se utilizan los métodos habituales de anticipación al evento mediante predicciones y análisis de datos junto con la investigación de la frecuencia y duración de los episodios antecedentes, realizando pronósticos e informando a la población para obtener una mejor preparación frente a los fenómenos anteriormente expuestos.

- **Anticipación a la sequía.** Posibilidad de prever y anticiparse reduciendo los costes y los impactos gracias al pronóstico y al análisis de las sequías posibles. Es esencial en la observación de las condiciones climáticas e hidrológicas y el seguimiento durante las épocas de escasez. También es necesario educar y concienciar a la población para que sean capaces de adoptar medidas antes de que sea demasiado tarde.
- **Reparto del riesgo y las pérdidas.** Cuanto más se reparten más aceptables son las pérdidas y los riesgos de volver a enfrentarse a ella en el futuro. La forma de reparto se puede hacer mediante seguros de sequías, donde se comparte el riesgo con los usuarios; protección individual, ahorrando dinero para poder enfrentarse a periodos de escasez; mediante ayudas comunitarias para catástrofes; con el uso de especies resistentes a las sequías y mediante el acondicionamiento de la agricultura, desarrollando calendarios de riego optimizados.

La anticipación en la aplicación de las medidas de mitigación es un elemento clave en la reducción de los efectos socioeconómicos de la sequía. Por ello, el objetivo del trabajo será la creación de una metodología que sirva como pronóstico y sea de utilidad a la hora de aplicar las medidas propuestas.

1.5.- Evaluación del riesgo

En la evaluación del riesgo se busca la anticipación a los impactos que pueda provocar la sequía para así poder actuar sobre ellos, especialmente sobre los de mayor severidad. Una correcta evaluación del riesgo del sistema hidráulico debe sustentarse en los siguientes procesos y actuaciones:

- Definición clara de las condiciones que determinan el inicio de una sequía en cada sistema.
- Utilización de indicadores apropiados.
- Consideración de las reglas de explotación en la valoración genérica de disponibilidad de recursos.
- Revisión del riesgo asumido en los sistemas existentes.
- Actualización periódica de las valoraciones de riesgo.

Es esencial tener claras las condiciones que implican una situación de sequía en el sistema. Dichas condiciones, servirán de referencia para las medidas y actuaciones en los ámbitos técnicos, económicos, legales, sociales, etcétera. Los daños y costes asociados a cada actuación son perfectamente valorables en cada sistema de suministro.

El método a seguir en cada sistema va a depender, en gran medida, del riesgo que se quiera asumir. Los problemas de más difícil solución se plantean cuando las decisiones de un sistema interfieren con las de otro próximo, que muy probablemente estará gestionado con un nivel de riesgo diferente. En estos casos, se muestra especialmente necesaria la intervención de los órganos de cuenca, que tienen la responsabilidad de arbitrar este tipo de conflictos. Es necesario, por parte de las Confederaciones Hidrográficas, que se establezcan criterios claros y perfectamente definidos de declaración de situaciones de sequía, al nivel de desagregación necesario, dentro de su ámbito de competencia. En este caso la declaración de sequía implicará la alteración de prioridades de uso y atenciones concesionales.

Este procedimiento de cálculo se ajusta en mayor grado a la forma real en que se explotan los sistemas hidráulicos; por ello, se hace imprescindible incorporar las grandes reglas de explotación de los sistemas a los métodos de cálculo siempre que se realicen tareas de planificación o valoración de las disponibilidades de agua.

El indicador deseable, verdaderamente útil y representativo de la potencialidad de un sistema hidráulico, es el volumen de demanda (con su correspondiente distribución temporal) que es capaz de suministrar anualmente el sistema con una garantía determinada y según unas reglas de explotación conocidas (al menos en cuanto a las políticas de reducción de demandas y de utilización de otro tipo de recursos complementarios). A este indicador se le conoce como la Capacidad de Suministro de un Sistema.

Por otra parte, para que la valoración del riesgo sea verdaderamente útil ha de estar actualizada a las circunstancias existentes en cada momento, tanto en disponibilidades de regulación y extracción de los acuíferos como en la evolución y redistribución territorial de las demandas.

Una circunstancia especialmente relevante que obliga a revisar y actualizar el riesgo de desabastecimiento, es la incorporación al cálculo de cuantos fenómenos hidrológicos o meteorológicos vayan sucediendo, principalmente si reflejan períodos de escasez especialmente significativos. Si se tiene en cuenta que todas las valoraciones se basan en datos tomados de series temporales de caudales y precipitaciones con longitudes escasas, el incremento de estas series con nuevos datos enriquece enormemente las calidades de las conclusiones que se deriven de su utilización (Hispagua, Cedex, 1996).

Mediante las series de aportaciones históricas se alimentan los modelos de simulación de la gestión del sistema y los estudios de planificación. Con el modelo estocástico de aportaciones se hace uso de la metodología de toma de decisión basada en el riesgo, que permite llevar a cabo una gestión probabilística de los recursos hídricos para paliar los efectos de las posibles sequías. De este modo, es posible plantear escenarios hipotéticos con estados iniciales de embalses y aportaciones previas, analizándose los resultados obtenidos en cada uno de ellos, llegando a conclusiones y demostrando la utilidad de la herramienta empleada para la gestión del recurso en el sistema Júcar - Turia frente a situaciones de sequía.

1.6.- Objetivo del Trabajo de Fin de Grado

El objeto del presente Trabajo de Fin de Grado, que se centra en el estudio de la identificación y evaluación de las medidas para la minimización del riesgo de las sequías futuras en el sistema Júcar - Turia, consiste en aplicar varias de las medidas propuesta por el Plan Especial de Sequías en su informe post sequía correspondiente al periodo 2004 - 2008.

Una de las medidas que propone es la creación del sistema Júcar - Turia. La idea del estudio de los ríos como un conjunto surge al observar la gestión que se lleva haciendo en los sistemas, en el que los años de extrema sequía, como lo fue el año hidrológico 2004/05, el río Turia ayudó al río Júcar para conseguir hacer frente a las demandas.

La segunda medida que propone y que se va a desarrollar es la creación de una herramienta de simulación de la gestión que realiza previsiones de evolución de sistemas y estado en embalses a corto plazo siendo de gran utilidad para el análisis y seguimiento de la sequía incluso en periodos de escasez de aportaciones. Concretamente en el sistema Júcar - Turia se ha optado por el estudio del año hidrológico 2004/05, caracterizado por ser el comienzo del último periodo de sequía más próximo, especialmente para el Júcar. La herramienta de simulación se ejecutará en el modelo del programa Aquatool, desarrollado en el departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente (DIHMA), en la unidad de Recursos Hídricos (RRHH) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV).

En la aplicación de estos modelos ha sido necesario incluir las aportaciones históricas desde el año hidrológico 1980/81 hasta el año 2004/05 ya que corresponden al periodo de tiempo más cercano al actual e incluyen situaciones de extrema sequía y en general, se aprecia una disminución de las aportaciones en el ámbito territorial de las cuencas hidrográficas de vertiente mediterránea como la del Júcar, fenómeno que se conoce ya con el nombre de efecto 80.

Para validar y analizar los resultados obtenidos con la nueva metodología se contrastará el año hidrológico 2004/05 con los resultados obtenidos por el PES y se decidirá si mejora o no los resultados.

Finalmente, la aplicación de la metodología propuesta sirve para conocer de forma anticipada la evolución del sistema y sus consecuencias si no se aplican las medidas de mitigación necesarias, especialmente en las fases de alerta y emergencia.



2.- La Demarcación Hidrográfica del Júcar

Comprende el territorio de las cuencas hidrográficas que vierten al mar Mediterráneo entre la margen izquierda de la Gola del Segura en su desembocadura y la desembocadura del río Cenia, incluida su cuenca, junto con sus aguas de transición. Quedan excluidas las cuencas intracomunitarias de la Comunidad Valenciana, así como las aguas de transición a ellas asociadas. Las aguas costeras tienen como límite sur la línea con orientación 100° que pasa por el límite costero entre los términos municipales de Elche y Guardamar del Segura y como límite norte la línea con orientación 122,5° que pasa por el extremo meridional de la playa de Alcanar. Quedan excluidas las aguas costeras asociadas a la fachada litoral de las cuencas intracomunitarias de la Comunidad Valenciana.

Se define *cuenca hidrográfica* como aquella superficie de terreno cuya escurrimiento superficial fluye totalmente a través de corrientes, ríos o lagos hacia el mar por una única desembocadura, delta o estuario.

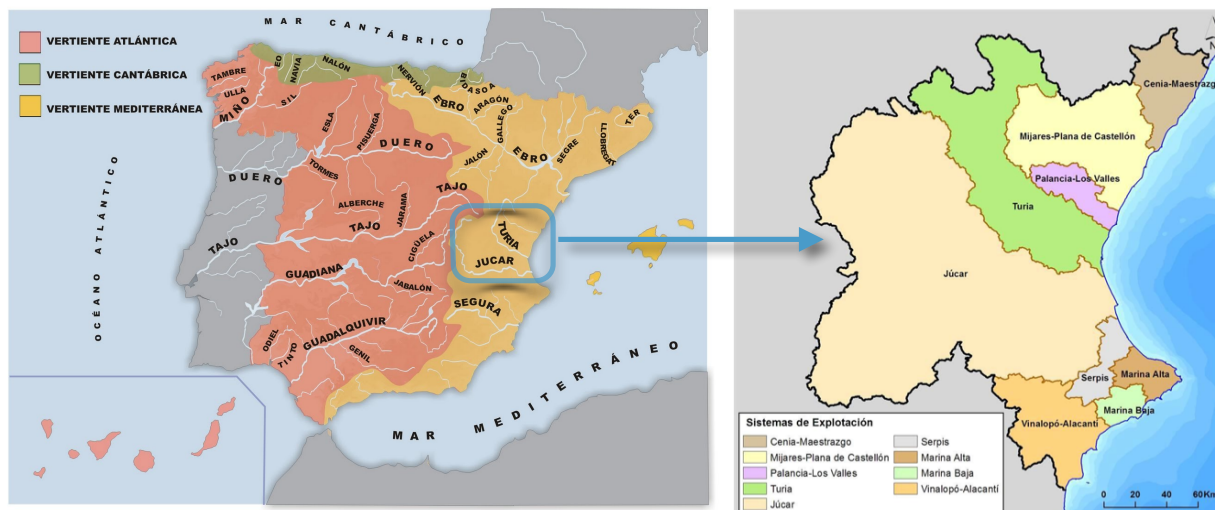
2.1.- Descripción de la Demarcación Hidrográfica del Júcar

Se va a proceder a describir la Demarcación de la Confederación Hidrográfica del Júcar indicando su situación geográfica, un resumen de su marco físico y biótico, una descripción de sus principales infraestructuras hidráulicas, sus sistemas de explotación, la localización, límites y caracterización de sus masas de agua tanto superficial como subterránea, los principales estadísticos de las series hidrológicas y un resumen de los recursos hídricos disponibles.

La información se ha obtenido mediante el documento inicial *Estudio General de la Demarcación* (2007) y el *Esquema de Temas Importantes* (2013) expuestos por la Confederación Hidrográfica del Júcar y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

2.1.1.- Situación geográfica

La Confederación Hidrográfica del Júcar, situada en la parte Este de la Península Ibérica, pertenece a la vertiente mediterránea. Se denomina vertiente mediterránea porque todos los ríos pertenecientes desembocan en el mar Mediterráneo. El área total por la agregación de cuencas hidrográficas es de 42.989 km². De los ríos que descargan en el mar Mediterráneo cabe destacar los siguientes: Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis y Vinalopó.



Ilustraciones 7 y 8 : Vertientes, ríos principales y la CHJ. Fuente: Plan Hidrológico de Cuenca, 2013.

De las 17 Comunidades Autónomas españolas, la CHJ engloba parte de cuatro de ellas:

CCAA	Participación Territorial	Superficie km
Comunidad Valenciana	49,60%	24.447,34
Castilla La Mancha	36,60%	18.039,77
Aragón	13,20%	295,73
Cataluña	0,60%	6.703,30
TOTAL	100,00%	49.486,16

Ilustración 9: Distribución territorial de la CHJ. Fuente: CHJ.

2.1.2.- Rasgos geomorfológicos

En los Montes Universales nacen los ríos Turia y el río Júcar; así mismo, el río Mijares tiene su nacimiento en la Sierra de Gúdar. Estos tres ríos en conjunto proporcionan aproximadamente un tercio de la escorrentía superficial circulante media de todo el ámbito territorial. En la región Sur y Suroeste se extiende el tramo final de las montañas del Sistema Bético, donde nacen los ríos Serpis y Vinalopó.



Ilustración 10: Ríos de la vertiente Mediterránea. Fuente: Clarion.

La orografía en la que está situada facilita la descarga de las aguas en el mar Mediterráneo y la formación de cuencas hidrográficas. En cuanto a rasgos geomorfológicos destacan los siguientes:

Una cadena montañosa denominada *Sistema Ibérico* que abarca zonas desde la demarcación del río Ebro y del río Tajo hasta la llanura costera de Valencia. Actúa como una barrera para los frentes marinos, forzando a las nubes cargadas de humedad por contacto con la masa marina a elevarse a capas atmosféricas más altas, dando lugar a episodios de precipitación en estas regiones de montaña.

Una meseta continental.

Una llanura costera que se extiende a lo largo de la franja litoral costera denominada *plana*. La llanura está delimitada por el Sistema Ibérico en la parte Noroeste, la llanura continental en el Oeste y el Sistema Bético en el Sur. Se trata de una plataforma aluvial neógena rica en nutrientes que sostiene la mayor parte de la producción agrícola de regadío de la cuenca.

Existe otra llanura de gran importancia, situada en la zona de la Mancha, al Oeste de los sistemas montañosos mencionados anteriormente. Se caracteriza por tener un acuífero de grandes dimensiones denominado acuífero de la *Mancha Oriental* que está conectado al río Júcar cuando éste atraviesa la llanura. El acuífero y el río muestran claras interacciones de drenaje y recarga.

Se observan formaciones de albuferas y marjales, que son zonas húmedas de importante interés y que aportan una gran biodiversidad al sistema. Se trata de extensas llanuras de inundación alimentadas por aguas subterráneas principalmente y, en algunos casos, por aguas superficiales. Cabe destacar el Parque Natural de la Albufera de Valencia por su importancia en el humedal para la migración de aves de Europa a África.

Otra función importante de los ríos, dado que normalmente nacen en los picos más altos, es que suelen hacer de corredores ecológicos para la fauna, ya que conectan las zonas altas montañosas con las llanuras de los tramos medios.

En cuanto a elementos geomorfológicos, destacan las playas, los cordones dunares, los acantilados y los fondos de roca. Gracias a ellos, se encuentran ricos ecosistemas en los alrededores de la costa. La importancia de los ecosistemas terrestres es que alimentan a los ambientes marinos cercanos a la costa con materiales sedimentarios como arena, arcilla, y gravillas. Este material sedimentario está constituido por los aportes sólidos de los ríos, que una vez alcanzan la costa son rápidamente dispersados por las corrientes marinas. En este sentido, la corriente marina predominante se mueve de Norte a Sur, siendo el río Ebro (fuera de los límites de la CHJ) la fuente principal de materiales sedimentarios.

Los usos del suelo en el Organismo de Cuenca dependen principalmente del tipo de actividades humanas que se han ido desarrollando en cada zona, aunque la transformación principal ha sido para el uso agrícola. Ambos factores han dado lugar a paisajes artificiales que son bastante diferentes a los paisajes naturales resultantes de los factores climáticos, geológicos y morfológicos específicos de cada zona. Los usos del suelo se caracterizan aproximadamente de la siguiente forma:

ZONAS	OCUPACIÓN EN EL TERRITORIO
Zonas agrícolas de regadio	10%
Zonas agrícolas de secano	36%
Zonas forestales y seminaturales	50%
Zonas Húmedas	0,5%
Superficies de aguas	0,5%
Superficies artificiales	3%

Se observa que el uso principal del suelo es para zonas forestales y zonas seminaturales, esto demuestra los grandes niveles de patrimonio natural en el territorio de la cuenca del Júcar.

En cuanto a superficies artificiales, se trata de actuaciones antrópicas como pueden ser los servicios, la industria, la agricultura y la energía. En la Comunidad Valenciana cabe destacar la actividad del turismo, por sus costas y su clima, que aporta grandes cantidades a la economía de la Comunidad.

2.1.3.- Litología

El ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), está inscrito en un área de cobertura mesozoica fracturada durante la orogénesis alpina y tapizada de materiales neógenos.

Las calcarenitas y las margas son los grupos predominantes, aunque también se tienen proporciones de calizas y material aluvial muy significativas. Este último grupo se encuentra fundamentalmente en los tramos finales de los ríos principales (Mijares, Júcar y Turia).

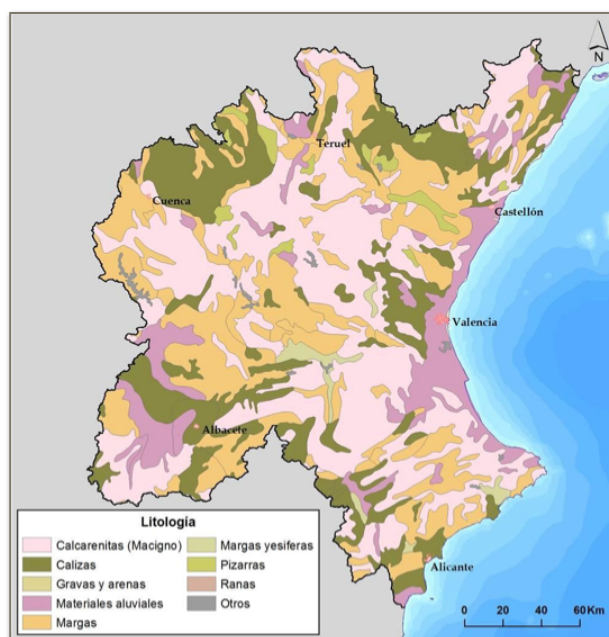


Ilustración 11: Mapa litológico. Fuente: GESHIDRO.

2.1.4.- Clima

El clima de la vertiente mediterránea se caracteriza por tener veranos cálidos e inviernos suaves. Este clima es el resultado de una masa de altas presiones que cubre la Península Ibérica proveniente de las Islas Azores en el Océano Atlántico. Las lluvias no suelen ser muy abundantes en la zona mediterránea y la característica principal es que no se producen en verano por lo que se genera un importante estrés hídrico.

Sin embargo, durante los meses de octubre y noviembre pueden producirse episodios de precipitación de gran intensidad y corta duración, conocido comúnmente como *gota fría*. Este fenómeno se presenta cuando masas calientes de vapor de agua se elevan desde el mar Mediterráneo una vez acaba el verano, y chocan con corrientes de aire frío polar provenientes del Norte. El resultado es la formación de nubes espesas, que provocan precipitaciones repentinas y bruscas, causantes de inundaciones devastadoras.

En cuanto a la temperatura, los máximos térmicos se registran en los meses de julio y agosto, coincidiendo con la estación seca. Dados los largos períodos de luz solar, junto con la continua circulación de masas de aire caliente, origina altas temperaturas, variando los valores medios anuales desde 9°C en las zonas montañosas del noroeste, a 18°C en la costa sureste.

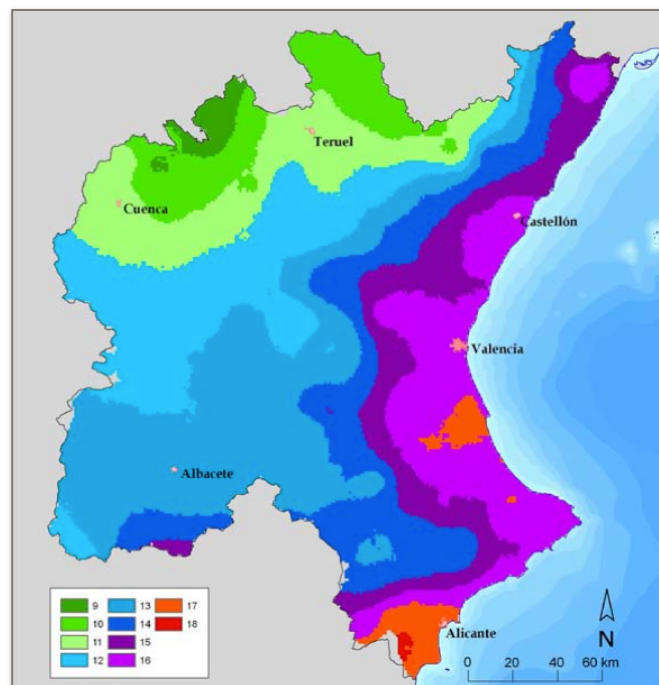


Ilustración 12: Temperatura media anual en la CHJ (°C). Fuente: CHJ, 2005.

La pluviosidad media anual es de 500 mm; no obstante, existe una gran variabilidad espacial con valores de 300 mm, en las regiones más meridionales, mientras que en otras zonas alcanza valores superiores a 780 mm. Los últimos años representados, correspondientes al periodo de 1980 - 2007, han sido especialmente secos, obteniendo como media 486 mm.

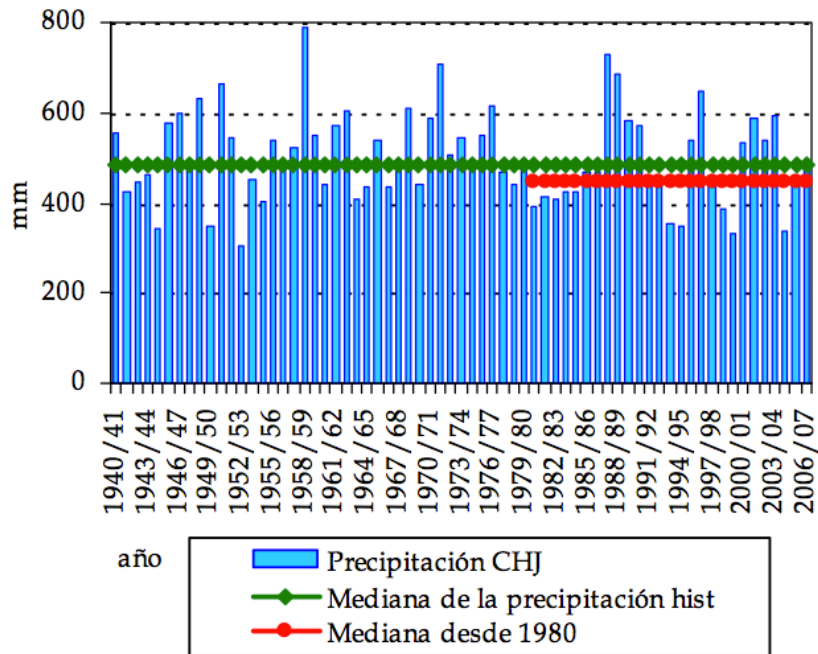


Ilustración 13: Serie de precipitaciones anuales en la CHJ (mm/año). Fuente: PGRRHH, 2014.

La precipitación no sólo varía anualmente, sino que también lo hace espacialmente por la influencia del relieve. Dependiendo de la zona en la que se esté se pueden encontrar los valores desde 200 mm, en regiones más secas, hasta llegar a alcanzar valores superiores a 1.000 mm, en las zonas más húmedas. Estas variaciones se deben a que la cuenca está situada entre dos zonas climáticas muy diferentes entre sí, corresponden a los climas de Europa y del Norte de África.

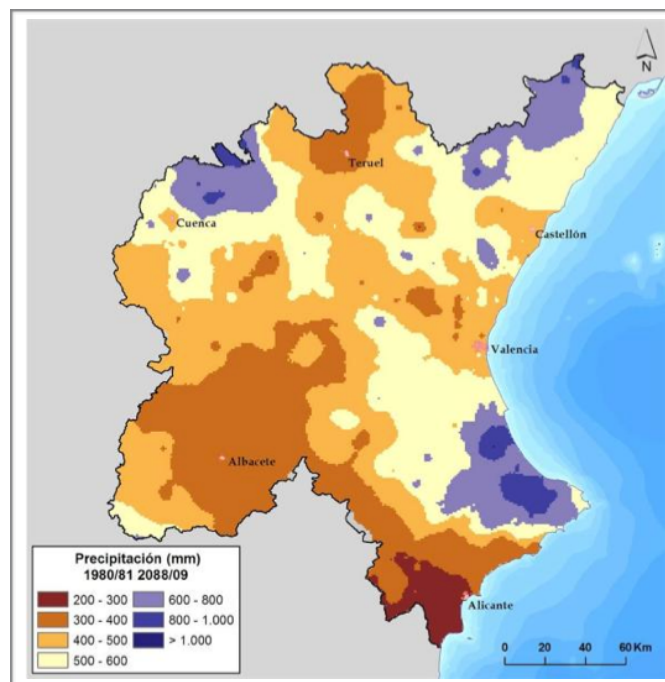


Ilustración 14: La pluviosidad media anual en la CHJ en el periodo 1980 - 2009. Fuente: UPV, 2013.

Con la Ilustración anterior no es posible determinar la concentración temporal de las precipitaciones ya que, en algunas zonas, la precipitación registrada en un solo día es similar a su precipitación media anual, como ocurre en algunas zonas costeras. Las tormentas intensas y de corta duración producen crecidas, causan inundaciones y erosión de los suelos. La lluvia convectiva produce valores máximos en otoño, cuando es común sobrepasar los 300 mm en 24 horas en algunas zonas de la cuenca.

De acuerdo con el índice climático de la UNESCO, hay tres tipos de regiones climáticas en la CHJ: semiárido, sub-húmedo, y húmedo. Estas regiones se definen por medio de un índice que relaciona la precipitación y la evapotranspiración potencial. La Ilustración adjunta muestra la importancia de la región semiárida que ocupa una importante extensión al Sur y al Suroeste de la cuenca.

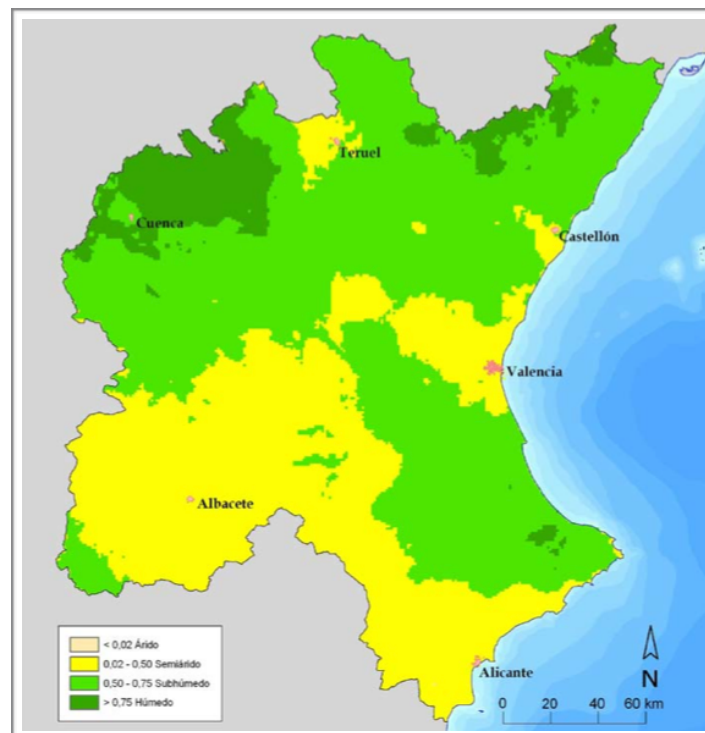
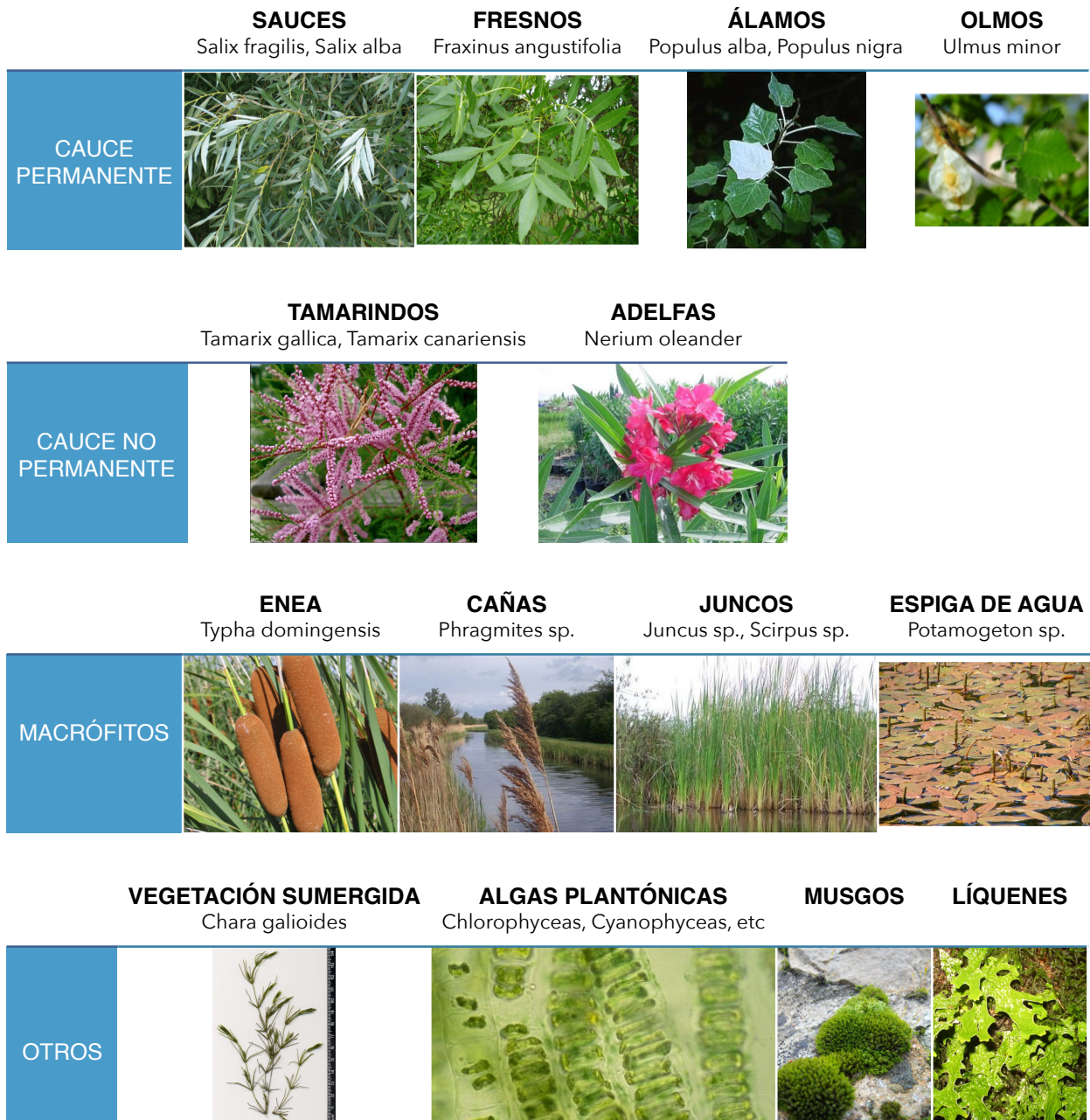


Ilustración 15: Mapa del índice de humedad. Fuente: UNESCO.

2.1.5.- Marco biótico

El marco biótico del ámbito territorial de la Cuenca Hidrográfica del Júcar está caracterizado por presentar una gran diversidad de ecosistemas. Cada uno de ellos posee una vegetación característica asociada que varía dependiendo de la litología, geomorfología y clima. El contraste entre el norte, con un clima más húmedo y el sur, más seco, junto con una litología variada, determina la gran riqueza de la flora presente. El tipo de vegetación que se puede encontrar es la siguiente:



Cabe destacar que los musgos y líquenes nos sirven como bio-indicadores de la calidad de las aguas continentales, de las aguas de transición y de las aguas costeras.

Las comunidades zoológicas responden a aquellos factores que forman y alteran su hábitat. En el caso de organismos acuáticos, otros factores importantes son la cantidad y la calidad del agua; además, la evolución geológica y geomorfológica del territorio ha determinado la aparición de un gran número de especies autóctonas y endémicas.

Algunos ejemplos de la fauna existente en los ríos, sensibles a los cambios y que requieren requisitos ambientales muy estrictos, son:

ANGUILA Anguilla	CIPRÍNIDOS Chondrostoma	SALMÓNIDOS Salmo trutta	COLMILLEJAS Cobitis sp.	BLENIDOS Salaria fluviatilis	FARTET Aphanius iberus	SAMARUC Valencia hispanica
----------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	--	----------------------------------	--------------------------------------



En los últimos años algunas especies han disminuido debido a la degradación y a la contaminación existente en los tramos finales de los ríos, en especial la Anguila es la especie que se ha visto más afectada.

En la cuenca del Júcar se encuentra la especie *loina* (Chondrostoma toxostoma arrigonis), se trata de un ciprínido exclusivo de la cuenca del Júcar.

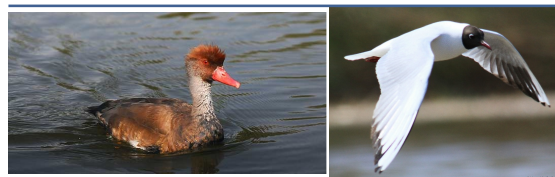


También existen especies migratorias y especies exóticas, de estas últimas encontramos una gran diversidad. La mayoría se introdujeron por el hombre para la pesca deportiva causando un gran impacto en las especies autóctonas produciéndoles estrés por el aumento de su competitividad disminuyendo críticamente las especies autóctonas.

En cuanto a aves, gracias a la conservación de los humedales, sólo en el lago de L'Albufera se pueden encontrar unas 250 especies de aves que usan el ecosistema de manera regular y más de 90 lo usan para la reproducción.

PATO ROJO
Netta rufina

GAVIOTA REIDORA
Larus ridibundus



Una de las especies más interesantes es el pato rojo con más de 10.000 individuos, lo que hace de L'Albufera uno de los sitios más importantes del Oeste de Europa para hibernar. Las poblaciones de gaviota reidora son también de gran importancia, alcanzando en algunos años los 60.000 individuos (CHJ, 2004).

La *nutria* (Lutra lutra) es el mayor carnívoro salvaje que se puede encontrar, aunque cabe mencionar que ha sufrido un gran declive en las últimas décadas debido a la degradación de los ecosistemas fluviales de los que depende.



Como bio-indicadores de la calidad ambiental del agua también se usan los macroinvertebrados. Estos seres vivos por tienen una rápida respuesta a las mínimas alteraciones de la calidad ambiental. Las especies del lugar más importantes son las siguientes:



Los ecosistemas existentes en las zonas costeras son los asociados a la naturaleza del sustrato, podemos encontrar dos tipos:

Ecosistema con características sedimentarias:

asociados a costas con un perfil bajo, como playas, filas de dunas o incluso humedales costeros. Al ubicarse en aguas poco profundas la luz solar alcanza el suelo marino; constituyen un hábitat ideal para algunas especies vegetales como la *fanerógama posidonia* (*Posidonia oceánica*), endémica del Mediterráneo. Esta especie forma comunidades muy extensas que producen grandes cantidades de oxígeno disuelto aportando gran biodiversidad al medio. Son un hábitat ideal para la reproducción, crecimiento y cobijo de un gran número de especies de peces y de crustáceos.



Ecosistemas con características erosivas: relacionado con costas de perfiles escarpados, como acantilados y lechos de roca emergentes, sobre los cuales las olas marinas producen erosión mecánica. Las condiciones del fondo rocoso están reguladas por variables como la intensidad de la luz solar, la temperatura del agua, y factores físico-químicos, que inducen un efecto de crecimiento o decrecimiento de especies bióticas de comunidades submarinas. Las comunidades que se encuentran habitualmente en este tipo de lecho marino son formaciones coralinas y cuevas marinas. La energía del golpe entre ola y roca produce que el agua marina alcance zonas terrestres, provocando un ambiente altamente salino, de fuertes vientos e intensa luz solar. Este ambiente representa un importante hábitat para un gran número de especies endémicas vegetales y animales (líquenes, algas y plantas del género *Limonium* o *Daucus*, invertebrados como almejas, además de aves).

2.2.- Los sistemas de explotación

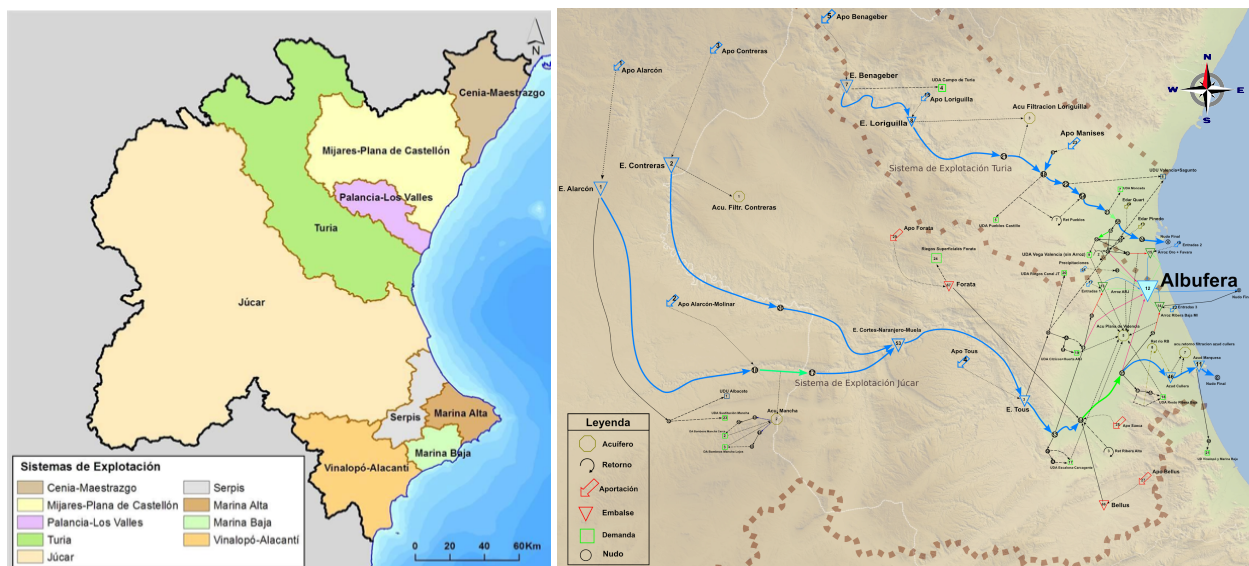
Un sistema de explotación está constituido por masas de agua superficial y subterránea, obras e instalaciones de infraestructura hidráulica, normas de utilización del agua derivadas de las características de las demandas y reglas de explotación.

El Plan Hidrológico de cuenca del Júcar establece una división del ámbito territorial en nueve Sistemas de Explotación:

- Cenia - Maestrazgo

- Mijares - Plana de Castellón
- Palencia - Los Valles
- Turia
- Júcar
- Serpis
- Marina Alta
- Marina baja
- Vinalopó - Alacantí

Para el análisis de la parte superficial del sistema de explotación Júcar - Turia se ha empleado un modelo matemático de simulación en el que se representan sus elementos más significativos, es decir, los recursos (convencionales y no convencionales), los acuíferos, las infraestructuras y conducciones, las demandas y los retornos. En la Ilustración 17 se muestra el esquema conceptual adoptado para posteriormente describir su incorporación en el modelo.



Ilustraciones 16 y 17: Sistemas de explotación de la CHJ y Esquema de Aquatool en ambos sistemas.

A continuación se detallan los sistemas de explotación Júcar y Turia pertenecientes la Confederación Hidrográfica del Júcar junto con los elementos representados en el modelo.

2.2.1.- Descripción del sistema de explotación Turia

El sistema de explotación Turia incluye la cuenca propia del río Turia, así como la de los barrancos de Carraixet y Poyo, y las subcuencas litorales comprendidas entre el límite norte del término municipal de Puçol y la gola de El Saler. El río Turia nace en la muela de San Juan, provincia de Teruel, conociéndose también, hasta su confluencia con el Alfambra, con el nombre de Guadalaviar. Aparte del ya mencionado Alfambra sus afluentes son: Camarena, Riodeva, Arcos y Tuéjar por la izquierda y Ebrón, Vallanca y Sot por la derecha. La superficie total comprendida por el sistema de explotación es de 7.240 Km².

Las principales infraestructuras de regulación son los embalses del Arquillo de San Blas, Benagéber, y Loriguilla. Se prioriza el almacenamiento de agua en el embalse de Benagéber,

- Regadíos del Canal del Camp de Turia, desarrollados en la segunda mitad del siglo XX, y que actualmente utilizan tanto recursos del río Turia regulados en el embalse de Benagéber como aguas subterráneas.
- Riegos de Pueblos Castillo.
- Riegos de la huerta de Valencia, desglosados en riegos de la Real Acequia de Moncada, riegos de la Vega de Valencia y los riegos de la acequia del Oro.

En este sistema juegan un papel destacado los retornos urbanos reutilizados directamente en zonas de riego de la huerta de Valencia, sobre todo de cara a proporcionar mayores garantías a los regadíos y al abastecimiento urbano en situaciones de sequía. En este sentido, cabe destacar la reutilización directa de los efluentes de las EDAR del ámbito del área metropolitana de Valencia: la EDAR de Pinedo y la EDAR de Quart-Benàger.

La serie de aportaciones totales anuales en el modelo de simulación en el sistema de explotación Turia se representa en la Ilustración siguiente, donde se observa un descenso muy significativo de las aportaciones en los últimos 30 años.

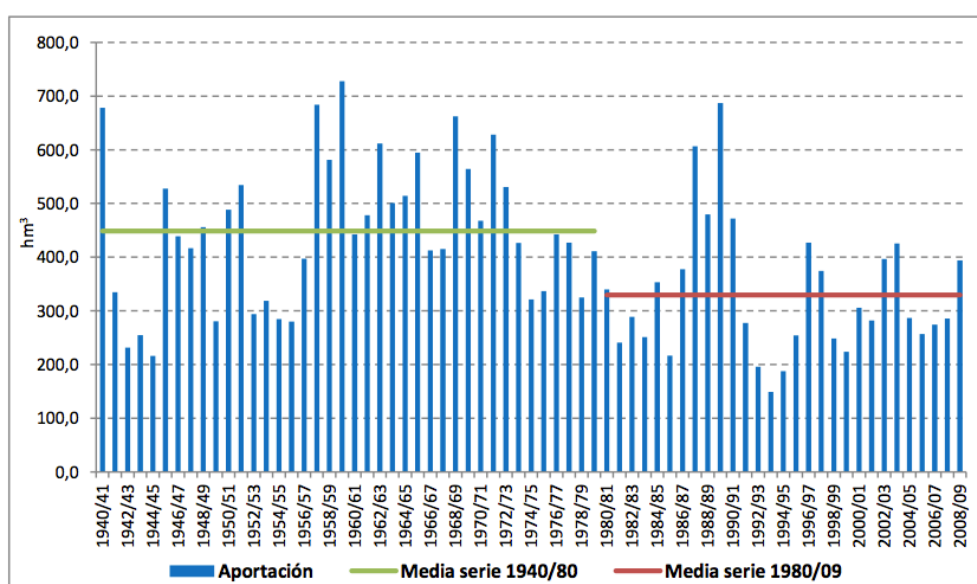


Ilustración 19: Aportación anual total en los puntos de aportación del modelo de simulación del sistema de explotación Turia. Fuente: DHJ, 2013.

2.2.2.- Descripción del sistema de explotación Júcar

El sistema de explotación Júcar comprende la cuenca propia del río Júcar y todas las demandas que se atienden desde ella. Nace en la cordillera Ibérica junto al cerro de San Felipe en la provincia de Cuenca y desemboca en las cercanías de Cullera, en la provincia de Valencia. Sus principales afluentes son los ríos Cabriel y Magro por la margen izquierda y los ríos Sellent y Albaida por la margen derecha. La superficie del sistema de explotación es de 22.261 km².

Los principales embalses del sistema son Alarcón, Contreras, Cortes, La Muela, Naranjero, Tous, Forata, y Bellús. Dada la envergadura del sistema de explotación son numerosos los embalses existentes (Escalona, Albadalejo, El Castellar, Henchideros, El Picazo, Grandales, Embarcaderos,

El Cañar, Yemeda, El Batanejo, Boniches, Venta Quemada, del Bujioso, Villora, Millares) que, dada su menor capacidad, no juegan un papel significativo en la regulación del sistema a la escala mensual utilizada en el estudio.

El sistema presenta 143 masas de agua superficial con una longitud de unos 2.900 km y 41 masas de agua subterránea integradas total o parcialmente en el sistema de explotación.

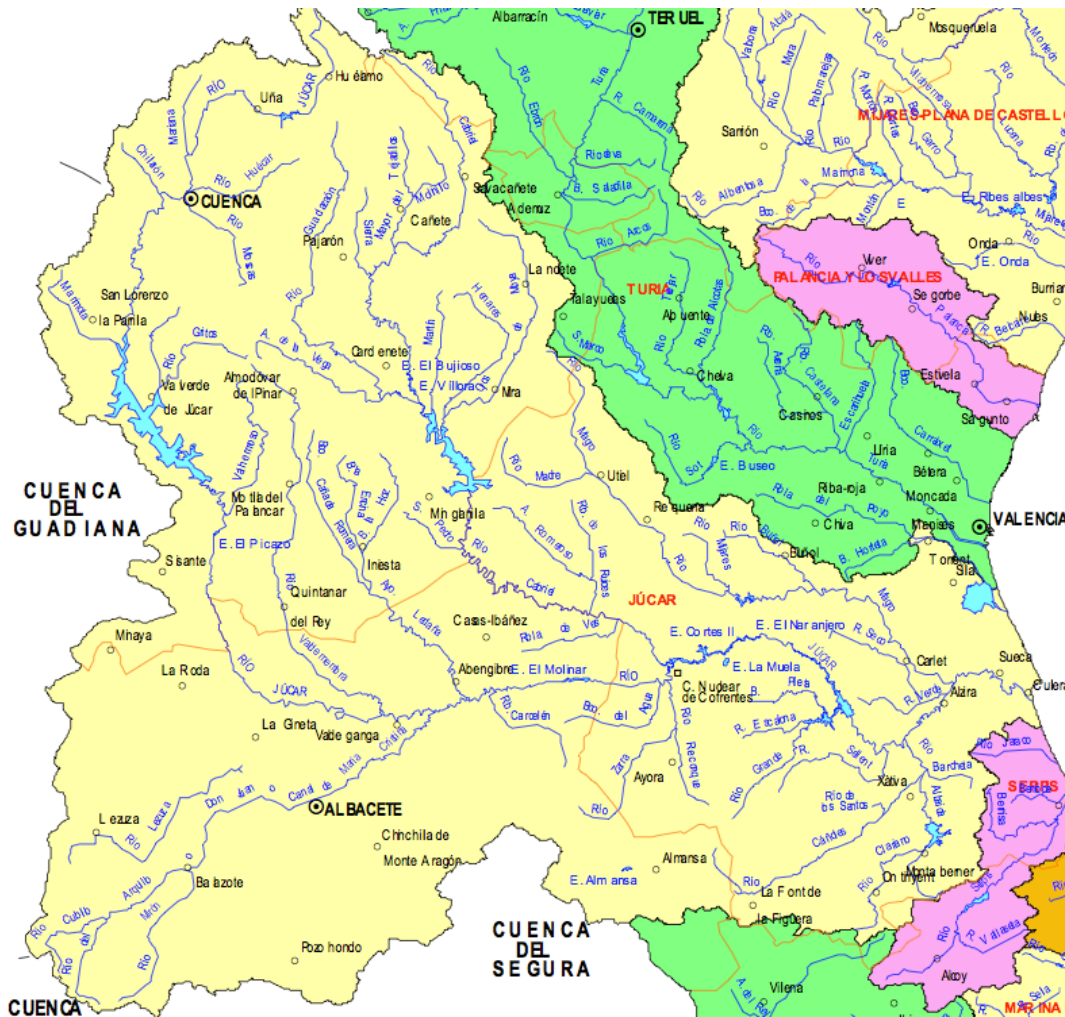


Ilustración 20: Mapa de situación del sistema de explotación Júcar. Fuente: MS, 2002.

En el sistema se ha definido la Unidad de Demanda Urbanala (UDU) Albacete. Respecto a las unidades de demanda agraria (UDA) se identifican las siguientes:

- Los Riegos Tradicionales de la Ribera del Júcar en la provincia de Valencia (RTRJ). Corresponden con los regadíos históricos situados en la Ribera Alta y la Ribera Baja, son prioritarios sobre los anteriores, y riegan con agua superficial del río Júcar mediante canales que derivan las aguas en azudes situados aguas abajo del embalse de Tous. Estos riegos han utilizado hasta fechas recientes sistemas de riego poco eficientes generando retornos superficiales y subterráneos que eran aprovechados en las tomas de las acequias situadas aguas abajo y además, un porcentaje muy importante de éstos retornos alcanzaba el Parque Natural de la Albufera de Valencia. En los últimos años se ha producido una modernización

de estos regadíos con una mejora muy significativa en su eficiencia y consecuentemente una disminución de los citados retornos.

- Riegos de la Mancha Oriental (RMO) desarrollados en el último tercio del siglo XX mediante el aprovechamiento de aguas subterráneas extraídas del sistema acuífero de la Mancha Oriental. Desde el año 2001, los RMO cuentan con la posibilidad de utilizar hasta 33 Hm³/año de aguas superficiales reguladas en el embalse de Alarcón que son movilizadas por el ATS gracias al proyecto de sustitución de bombeos fase I, estando previsto que en el horizonte 2021 cuenten con la posibilidad de utilizar hasta un total de 80 hm³/año de aguas procedentes de dicho embalse gracias al proyecto de sustitución de bombeos fase II.
- Los Riegos del Canal Júcar-Turia (RCJT) se desarrollaron también en el último tercio del siglo XX, mediante aguas subterráneas extraídas de los acuíferos de la zona. Desde los años 90 cuentan con la concesión de aguas del río Júcar a través del canal Júcar-Turia, desde el embalse de Tous.

Además, se localizan en el sistema demandas industriales como la demanda de agua para refrigeración y servicios de la central nuclear de Cofrentes, que tiene su toma en la cola del embalse de Cortes, y la derivación de agua en el azud de Molinar para su turbinado en la central hidráulica de Cofrentes, que posteriormente se reintegra al río Cabriel, cerca de su confluencia con el Júcar. Esta última no supone un uso consuntivo, pero influye en el caudal ambiental entre El Molinar y Embarcaderos (cola de Cortes).

El sistema de explotación Júcar incluye también diversos subsistemas como el subsistema de explotación del río Magro o la posibilidad de regulación de recursos por parte del embalse de Bellús y su aprovechamiento en el tramo bajo del Júcar.

La serie de aportaciones totales anuales consideradas en el modelo de simulación que se presentan muestran la existencia del conocido "efecto 80" que en este caso repercutirá en los resultados de la simulación ya que será el periodo de inicio de las aportaciones históricas.

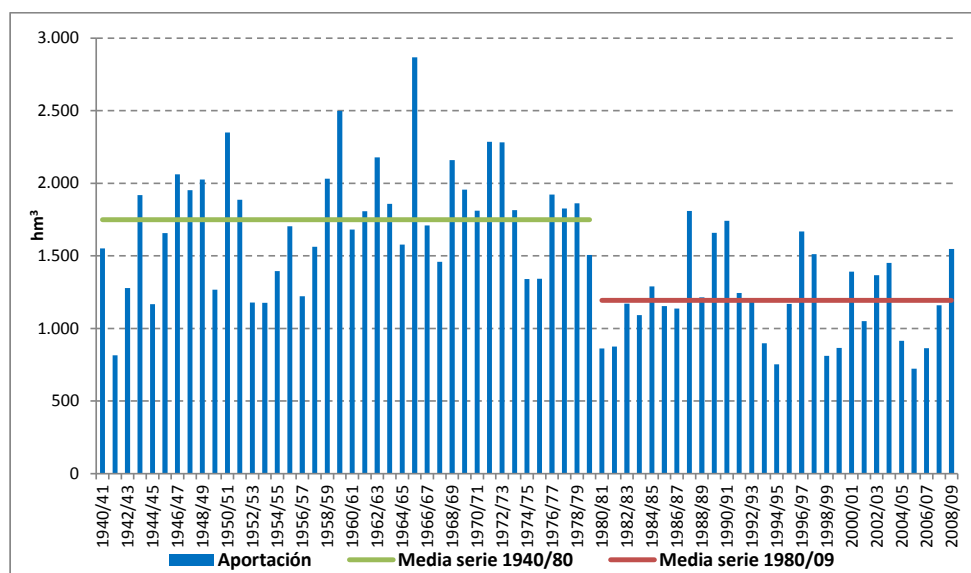


Ilustración 21: Aportación anual total en los puntos de aportación del modelo de simulación del sistema de explotación Júcar. Fuente: DHJ, 2013.

2.1.3.- Recursos hídricos del sistema Júcar - Turia

La mayor parte de la superficie de ambos sistemas está cubierta por materiales muy permeables que favorecen la infiltración de las aguas superficiales provenientes de la precipitación hacia estratos subterráneos. El sistema Júcar - Turia se caracteriza por sus altas demandas de aguas para riego y abastecimiento. En cuanto a recursos hídricos disponibles y a demandas atendidas se pueden citar los siguientes casos:

- Los sistemas se caracterizan por poseer un ajustado equilibrio entre los recursos hídricos y las demandas; debido a este equilibrio, se encuentran situaciones localmente importantes de déficit de recursos, que pueden comprometer al desarrollo de las futuras demandas.
- Un 50% de los recursos hídricos disponibles tienen su origen subterráneo, existiendo asimismo una importante reutilización directa de aguas residuales depuradas.
- La demanda agraria supone del orden del 80% de la demanda total.

A continuación, se ha agrupado en tablas los datos característicos de ambos sistemas.

Sistema de Explotación	Población Permanente	Población Estacional	Población Total Equivalente
Turia	1.552.077	10.651	1.593.303
Júcar	1.203.617	11.754	1.253.055

Ilustración 22: Población en los sistemas de explotación. Fuente: DHJ, 2013.

	Embalse	Superficie cuenca (km)	Capacidad máxima (Hm)
Turia	Benagéber	151,31	221,34
	Loriguilla	142,48	22,42
Júcar	Alarcón	286,89	1.112
	Contreras	279,69	444
	Tous	51,06	240
	Bellus	236,28	28,56
	Cortes - Naranjero - Muela	394,51	151
	Forata	112,29	30,99

Ilustración 23: Superficie y capacidad máxima de los embalses de los sistemas de explotación. Fuente: CEDEX y modelo de Aquatool.

		Demandas	Hm			Aportaciones	Hm
Turia	UDA Campo del Turia		43,7	Turia	Loriguilla		23,8
	UDA Moncada		76,9		Benagéber		154,6
	UDA Vega Valencia		84,9		Manises		51,3
	UDA Pueblos Castillo		63,5				
Ambos	UDA Riego Canal JT		58,1	Júcar	Alarcón		290,32
Júcar	UD Escalona - Carcagente		42,1		Alarcón - Molinar		235,5
	UDU Albacete		16,9		Contreras		238,2
	UDA Mancha Oriental		324,2		Tous		171,0
				Huerto Mulet		264,7	

Ilustración 24: Demandas superficiales y promedio de aportaciones en los años 1980 - 2008 para los sistemas de explotación. Fuente: DHJ, 2013.

		Turia	Júcar
Precipitación (mm)	1940/41 - 2008/09	474,5	494,3
	1980/81 - 2008/09	458,1	472,7
Temperatura (°C)	1940/41 - 2008/09	13,4	13,8
	1980/81 - 2008/09	13,3	14,2
ETP (mm)	1940/41 - 2008/09	837,1	907,3
	1980/81 - 2008/09	833,5	925,8
Evaporación Real (mm)	1940/41 - 2008/09	400,0	411,7
	1980/81 - 2008/09	386,3	398,3
Recarga total (mm)	1940/41 - 2008/09	57,6	57,1
	1980/81 - 2008/09	54,3	50,5
Aportación (mm)	1940/41 - 2008/09	68,6	77,9
	1980/81 - 2008/09	64,1	69,0

Ilustración 25: Datos de valores medios. Fuente: DHJ, 2013.

Sistema de Explotación	Volumen depurado	Volumen regenerado	Volumen Reutilizado	Total Consuntivo
Turia	224,8	83,8	81,8	50,2
Júcar	166,1	37,1	19,2	19,2

Ilustración 26: Depuradoras por sistema de explotación (Hm³/año), 2009. Fuente: DHJ, 2013.

3.- Las sequías en el río Júcar y en el río Turia: Pasado y Futuro

La sequía es un fenómeno natural, cíclico en todos los países junto al mar Mediterráneo (Europa y Nord África). En ambos sistemas de explotación las sequías son frecuentes y prolongadas, pudiendo llegar a poner en peligro tanto el suministro de abastecimiento urbano como el de riego; además, el medioambiente puede verse también afectado por la escasez de los caudales circulantes y por la disminución de calidad de agua que ello conlleva.

3.1.- Análisis de la sequía histórica 1983/84 - 1985/86

En los años hidrológicos 1977/78 - 1986/87 se observaron escasas precipitaciones y aportaciones, siendo los periodos más secos los comprendidos entre los años hidrológicos 1983/84 a 1985/86. En la siguiente ilustración se muestra la distribución espacial de la precipitación en el ámbito de la CHJ para estos años.

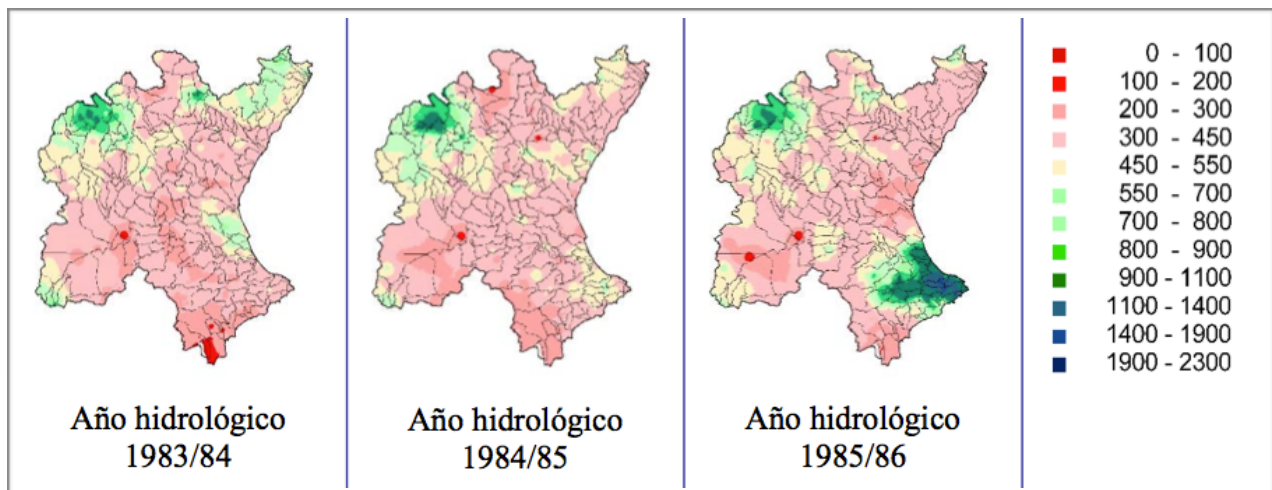


Ilustración 27: Distribución espacial de la precipitación anual en la CHJ durante la sequía 1983/84 A 1985/86. Fuente: PES en CHJ, 2007.

La ilustración anterior muestra el reflejo de una época de sequía intensa en la que las precipitaciones son escasas, que implicaron someter a la cuenca a altas presiones para poder suministrar las demandas.

Los valores que se registraron en la CHJ durante todo el periodo fueron de precipitaciones inferiores a 450 mm excepto en el año 1985/86, en la cabecera del Júcar y en la Marina Alta - Bajo Júcar, que se registraron precipitaciones superiores a 900 mm.

El 29 de Junio de 1983 se creó una Comisión de sequía, basada en la Ley 6/1983, sobre "Medidas excepcionales para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, escasos a consecuencia de la prolongada sequía". La comisión trataba temas relacionados con las cuestiones de orden y procedimiento, propuesta de obras específicas, propuestas de uso del recurso e informes sobre estados de embalses y recursos.

En la siguiente ilustración se recoge el volumen almacenado en los embalses para el conjunto de la CHJ entre los meses de octubre de 1978 y 1985, las aportaciones totales mensuales a los embalses de la cuenca, los hitos cronológicos de actuación en el periodo de vigencia de la Comisión de sequía y los estados de sequía, según el sistema de indicadores de la CHJ.

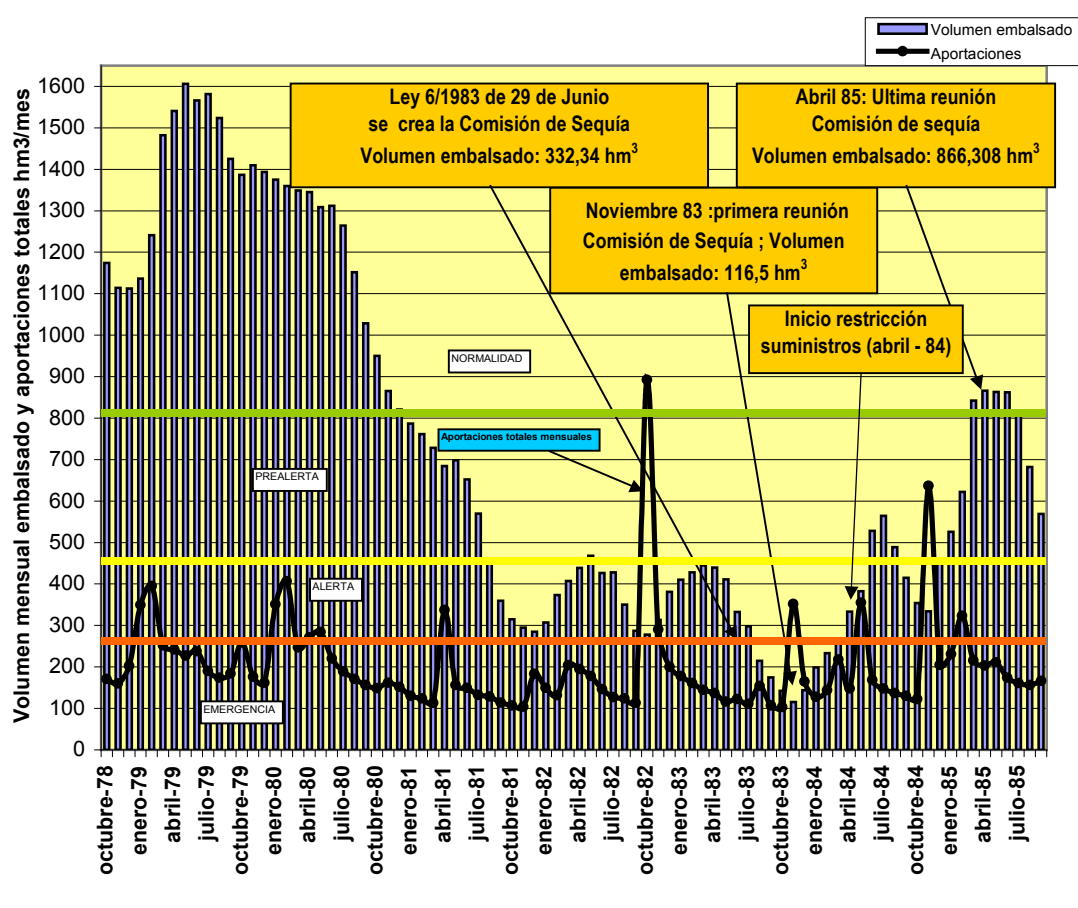


Ilustración 28: Evolución del volumen mensual embalsado y aportaciones totales en la CHJ en el periodo seco 1978/79–1984/85. Fuente: PES, 2007.

El descenso de las precipitaciones y aportaciones se inició en el año 1977/78. En la ilustración se reflejan los siguientes hechos:

- Entre octubre del 78 y mayo del 79 aumentan las reservas reguladas producto del incremento de las aportaciones habido en los meses de enero y febrero de 1979: Se pasa de 1.174 Hm³ regulados (43 % de la capacidad total) a 1.606 Hm³ (59% de la capacidad total).
- Entre mayo del 79 y noviembre de 1983 (primera reunión de la Comisión de sequía) las reservas superficiales almacenadas se reducen a 116,5 Hm³ (4% de la capacidad total de regulación) debido al mantenimiento del suministro de las demandas a pesar de que las aportaciones sufren una progresiva reducción, más acusada a partir de junio de 1980.
- La Comisión de sequía, en la reunión del 25 abril de 1984, adoptó medidas de restricción de dotaciones de riego cuando el volumen de reservas disponibles ascendía a 333 Hm³ (12% de la capacidad total de regulación).

Desde la primera reunión de la Comisión de sequía se observa un incremento progresivo de las reservas reguladas debido a la ligera recuperación de las aportaciones (noviembre 83, mayo 1984 y noviembre 1985) y también, en parte debido a las medidas de restricción de suministros que se adoptan a partir de abril de 1984. En la última reunión de la comisión de sequía en abril del 85 las reservas reguladas alcanzaban 886,5 Hm³ (33 % de la capacidad de regulación total).

Aplicando la definición de estados de sequía a los volúmenes totales almacenados en los embalses de la cuenca, se observan los siguientes hechos:

- Entre octubre del 78 y noviembre del 80 el escenario se mantiene en normalidad.
- En noviembre del 80 se entra en escenario de prealerta que se mantiene hasta agosto del 81.
- En agosto del 81 se entra en escenario de alerta.
- En agosto del 83 se entra en situación de emergencia.

3.2.- Análisis de la sequía histórica 1992/93 - 1995/96

La sequía que tuvo lugar entre los años hidrológicos 1992/93 a 1995/96 se enmarca dentro del período seco de aportaciones y precipitaciones de los años hidrológicos 1991/92 a 2000/01. A continuación se muestra la distribución espacial de las precipitaciones en los años del ciclo.

En este periodo se parte de una situación más desfavorable de reservas embalsadas que hizo que el periodo de sequía tuviera una mayor intensidad, en comparación con el periodo 83 - 86, pero con menor duración.

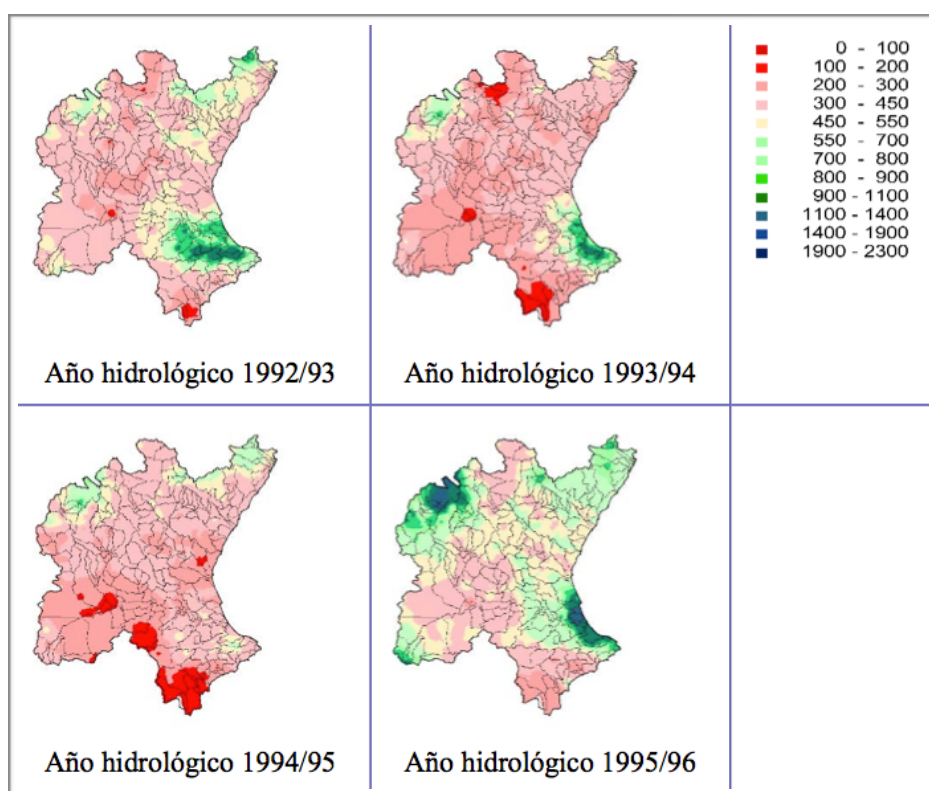


Ilustración 29: Distribución espacial de la precipitación anual en la CHJ durante la sequía 1992/93 A 1995/96, Fuente PES, 2007.

El promedio de la precipitación en la CHJ durante la totalidad del periodo fue inferior a 450 mm. El año más seco fue el correspondiente al periodo 1994/95 que tuvo precipitaciones inferiores a los 300 mm.

Las zonas menos afectadas, con precipitaciones superiores a los 900 mm, fueron el bajo Júcar y el Serpis y las más afectadas abarcaron la Mancha Oriental (Júcar) y el Vinalopó con precipitación también inferior a los 300 mm.

La aportación media del ciclo a escala de toda la cuenca fue de 2.195 Hm³/año, un 33 % inferior a la media del período 1940/41 a 2000/01 (3.721 Hm³/año). El año hidrológico de menor aportación fue el 1994/95 con 1.433 Hm³/año (un 56% inferior a la medio del período analizado). En los sistemas Júcar y Turia la aportación total no superó el 29% de la demanda existente.

Los sistemas de explotación mas afectados por la disminución relativa de las aportaciones fueron el Turia y el Júcar, respectivamente con un 44 y un 35% inferior a la media.

Año Hidrológico	Turia	Júcar
1992/93	301	1.354
1993/94	213	981
1994/95	194	593
1995/96	294	1.410
Aportación media del periodo	251	1.084
Aportación media 1940/2000	437	1.686
Diferencia	186	602

Ilustración 30 : Aportaciones totales anuales (en Hm³) durante el ciclo seco 1992/93 A 1995/96. Fuente: PES, 2007.

Durante dicho periodo se tomaron una serie de actuaciones administrativas para paliar los efectos de la sequía. Consistían en medidas para la gestión de los recursos hídricos estableciendo normas para la explotación de los recursos hídricos disponibles. Entre otras medidas, para los sistemas de explotación de estudio, se reservó un caudal continuo para el abastecimiento de riegos en el canal de Júcar - Turia de 3,2 m³/s. Del volumen total almacenado en los embalses se consideraron utilizables 145 Hm³ con la siguiente distribución: Alarcón 50 Hm³; Contreras 30 Hm³; Tous 25 Hm³ y Cortes 40 Hm³. El resto de los recursos almacenados, 165 Hm³, no se consideraban utilizables por consideraciones de tipo ambiental o funcional y tenían la siguiente distribución: Alarcón 30 Hm³; Contreras 15 Hm³; Tous 10 Hm³ y Cortes 10 Hm³.

En la figura adjunta se representa la evolución de los volúmenes totales mensuales embalsados en la cuenca y las aportaciones totales mensuales habidas entre octubre de 1992 y septiembre de 1996. Se representan también los principales hitos de actuación administrativa durante la sequía.

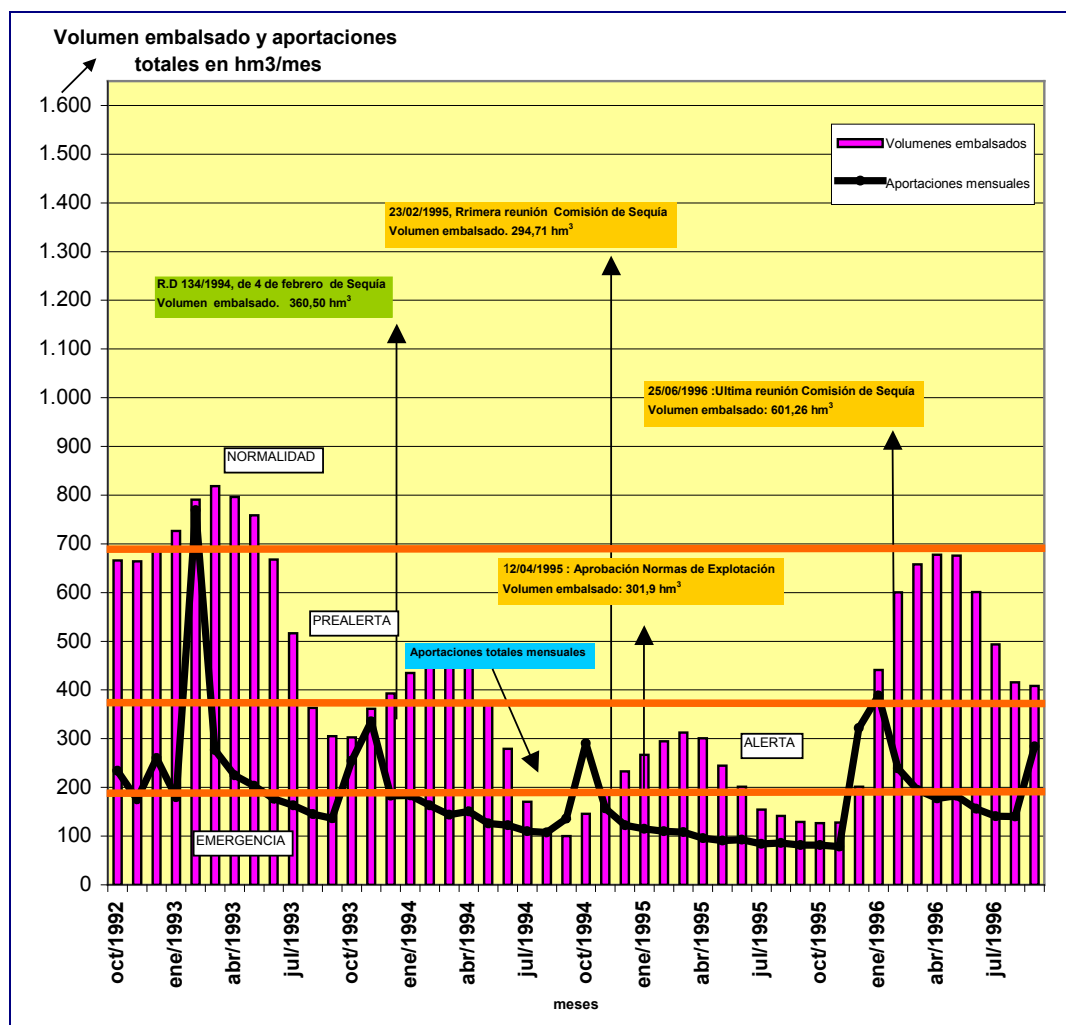


Ilustración 31: Evolución del volumen embalsado y aportaciones totales mensuales en la CHJ durante las sequías del periodo 1992/93 A 1995/96. Fuente: PES, 2007.

El descenso de las precipitaciones y de las aportaciones se inició en el año hidrológico 1992/93. Se observa que, exceptuando los meses de enero a junio del año 1993, los meses restantes nunca alcanzan el estado de normalidad, encontrándose dos periodos de emergencia. Gracias a las medidas de explotación y el incremento de las aportaciones a partir de diciembre de 1995 hace que fuera posible pasar del estado de emergencia a alerta.

3.3.- Análisis de la sequía histórica 1997/98 - 2000/01

Este ciclo es muy similar al anterior, siendo un periodo seco de aportaciones y precipitaciones de los años hidrológicos 1991/92 a 2000/01. En las figuras adjuntas se muestra la distribución espacial de la precipitación total anual en los años del ciclo.

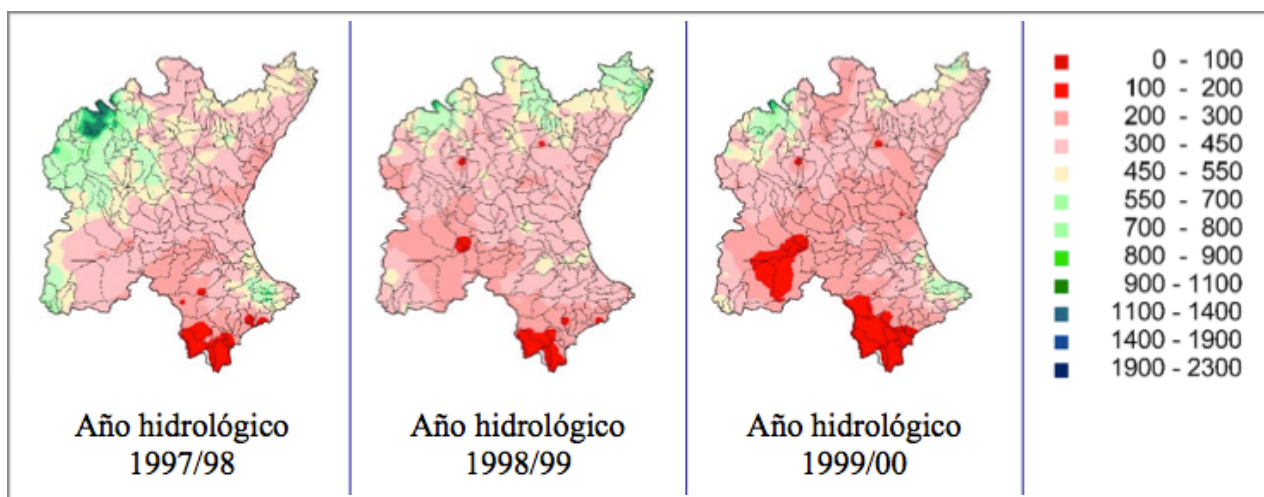


Ilustración 32: Distribución espacial de la precipitación anual en la CHJ durante la sequía 1997/98 A 1999/00. Fuente: PES, 2007.

El promedio de la precipitación total se sitúa en el rango 300 - 450 mm; las zonas más afectadas, con precipitaciones totales inferiores a 200 mm son la Mancha Oriental y el Vinalopó - Alacantí. La media de las aportaciones de los sistemas de estudio son las siguientes:

Año Hidrológico	Turia	Júcar
1997/98	351	1.765
1998/99	244	951
1999/00	217	723
Aportación media del periodo	271	1.146
Aportación media 1940/2000	437	1.686
Diferencia	166	540

Ilustración 33: Aportaciones totales anuales (en Hm³) durante el ciclo seco 1997/98 A 1999/00. Fuente: PES, 2007.

En la figura adjunta se recoge la evolución de los volúmenes embalsados, aportaciones mensuales y la definición de los estados de sequía sobre la base del volumen total embalsado en la CHJ. Se observa que la verdadera situación de emergencia en el ciclo analizado, sólo se alcanza en el mes de octubre del 2000.

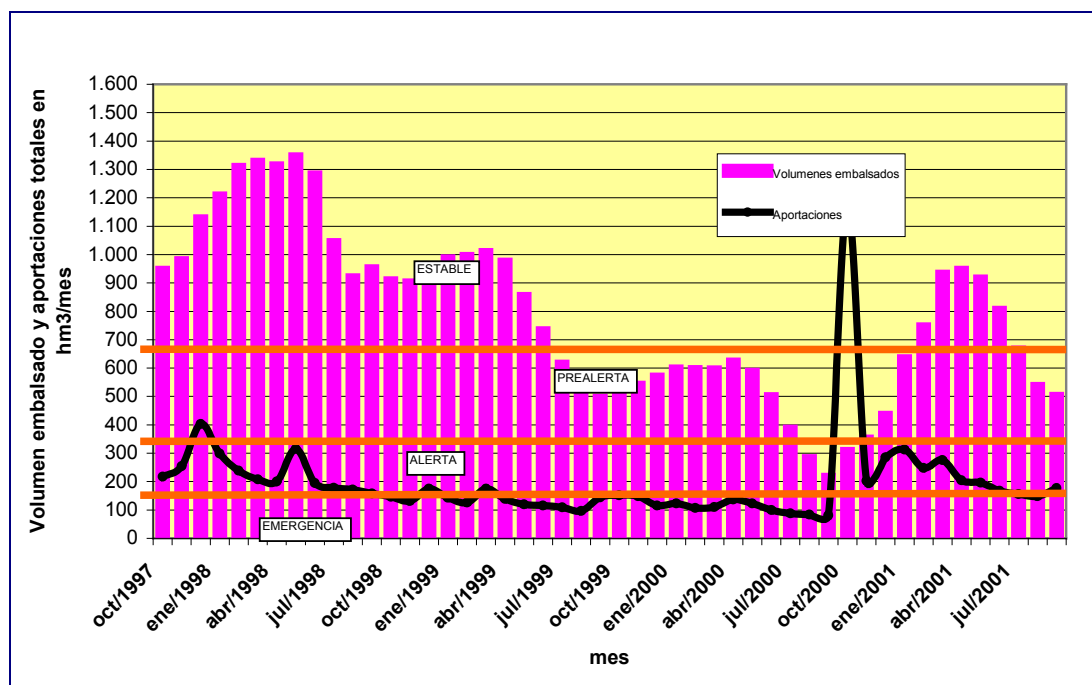


Ilustración 34: Evolución del volumen embalsado y aportaciones totales mensuales en la CHJ durante la sequía del periodo 1997/98 A 2000/01. Fuente: PES, 2007.

Las precipitaciones y aportaciones que se registraron en los años hidrológicos 1995/96 y 1996/97 permitieron alcanzar el estado de normalidad en el escenario. Se observa un descenso de aportaciones que comenzó en el año 97 transformando el sistema a una situación de prealerta a partir de junio del 99. Finalmente, el escenario de normalidad se volvió a alcanzar en marzo del año 2001 gracias al incremento de aportaciones de octubre del 2000.

3.4.- Análisis de la sequía histórica 2000/01 - 2008/09

Dentro del periodo, los años comprendidos entre el 2005 - 2008 tuvieron una de las sequías de mayor magnitud. La sequía se inició en el sistema de explotación Júcar a principios del año 2005 y se extendió al sistema Turia un año más tarde, año hidrológico 2006/07, finalizando en ambos sistemas al término del año 2008.

Debido a la gravedad del asunto se creó un Real Decreto que determinaba medidas administrativas excepcionales para la gestión de los recursos hídricos disponibles y actuaciones para paliar los efectos de la sequía existentes en las cuencas hidrográficas de los ríos Júcar, Segura y Tajo, denominado Real Decreto 1265/2005.

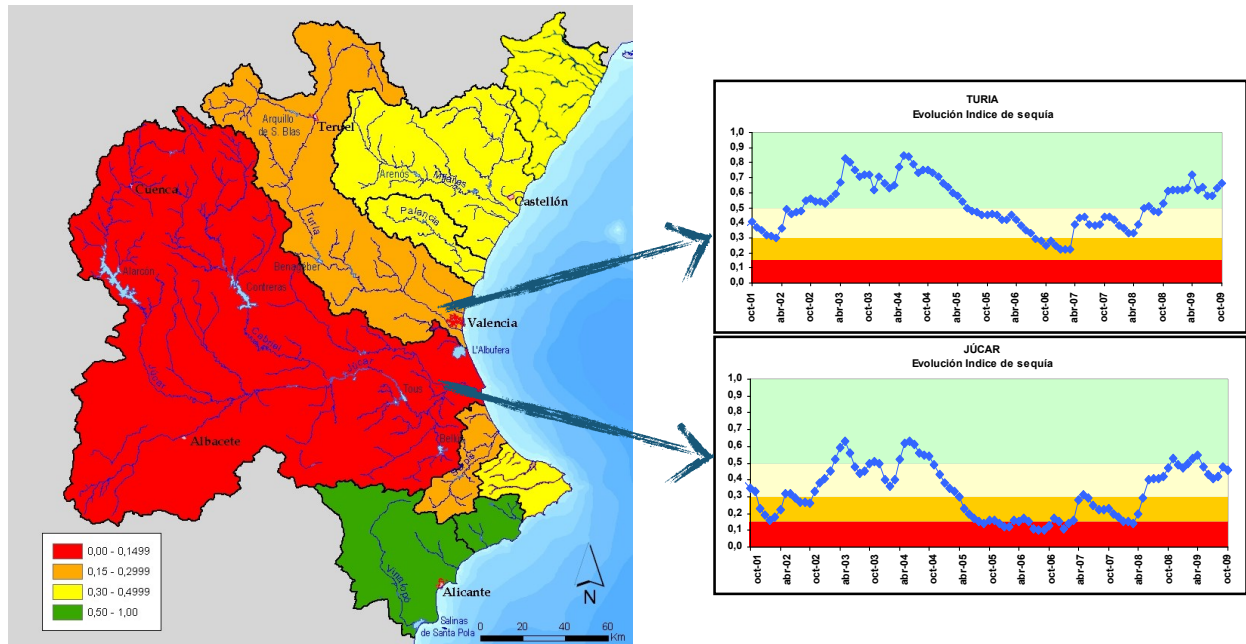


Ilustración 35: Evolución de los indicadores de sequía en el sistema Júcar y en el sistema Turia en el periodo de octubre 2001 - octubre 2009. Informe Post - Sequía PES.

El PES de la CHJ, mediante los resultados de los indicadores determinó, para el sistema de explotación Júcar - Turia, su situación durante dicho periodo. En junio de 2005 el sistema Júcar se situó en el escenario de emergencia para no salir hasta marzo de 2007. El sistema Turia, al tener una gestión conjunta con el Júcar, disminuyó su estado hasta alcanzar el escenario de alerta en marzo de 2007. Ambos sistemas se recuperaron en los meses de verano de 2007 pero volvieron a disminuir sus reservas en marzo del año siguiente, aunque los resultados no fueron tan perjudiciales como los registrados con anterioridad.

El PES del Júcar realizó un informe post - sequía después del periodo crítico de sequía 2005 - 2008 en el que indicó el proceso adoptado, la eficacia de las medidas y las consecuencias socioeconómicas y ambientales.

La Comisión Permanente de la Sequía (CPS) aprobó un conjunto de medidas para mitigar el impacto de la sequía. Las medidas aprobadas fueron:

- Medidas de protección del medio ambiente.
- Medidas de gestión y control.
- Medidas de ahorro.
- Fuentes alternativas y generación de recursos adicionales.

Las medidas de protección del medio ambiente tuvieron por objetivo garantizar los ecosistemas fluviales mediante la continuidad en los caudales circulantes y la protección de las zonas húmedas vulnerables a la sequía. Las principales medidas aplicadas fueron el mantenimiento de la continuidad de los ríos Júcar y Turia, con especial atención en los tramos más vulnerables, como el tramo del río Júcar situado entre los embalses de Alarcón y El Molinar, el tramo del Júcar aguas abajo de Tous, hasta desembocadura, y el tramo del Turia aguas abajo

de la presa de Loriguilla, hasta el azud del Repartiment, y el control y la vigilancia de l' Albufera de Valencia.

Además de estas medidas se realizaron Ofertas Públicas de Adquisición de Derechos (OPADs) con fines ambientales entre los usuarios agrícolas, como por ejemplo en el acuífero de la Mancha Oriental. El objetivo fue reducir las afecciones a los caudales circulantes y garantizar la continuidad.

Las medidas de gestión y control tuvieron como finalidad la reducción de las sueltas de los embalses, especialmente en los embalses de Tous y de Loriguilla; por ser los más significativos con capacidad de regulación en el sistema Júcar - Turia.

Por otro lado, se han empleado cálculos de previsiones de evolución futura de reservas de agua en los embalses, con una periodicidad trimestral o mensual, en los periodos más críticos, mediante simulaciones de diferentes escenarios hidrológicos futuros, tanto determinísticos como probabilísticos. Los resultados de estas simulaciones permiten obtener previsiones de evolución de las reservas de agua en los sistemas de recursos hídricos en cada año hidrológico. Este tipo de cálculos serán los que se realicen más adelante en el presente TFG.

Las medidas de ahorro implantadas tanto en los usos urbanos como en los agrícolas fueron la reducción de las derivaciones de agua para abastecimiento y riego y la optimización de los recursos, mediante la utilización conjunta de los recursos del sistema Júcar - Turia, en función de la disponibilidad de cada sistema.

Una de las principales medidas de ahorro aplicadas en el sistema Turia, fue la aplicación de turnos de riego entre las comunidades de regantes de los riegos tradicionales del Turia, denominados "tandeos". Consistían en el riego semanal alternativo entre la Real Acequia de Moncada y los riegos de la Vega de Valencia.

Las fuentes alternativas y generación de recursos adicionales, tuvieron como elementos principales la utilización de pozos de sequía, la recirculación de agua en acequias de la Ribera Baja del Júcar mediante "rebombes" y la reutilización en la agricultura de aguas residuales depuradas de las EDARs del área metropolitana de Valencia. Los pozos de sequía y los rebombes exigieron un esfuerzo en el control y vigilancia para minimizar las posibles afecciones al medio ambiente; por ello, se limitó el volumen máximo de extracción de agua en los pozos de sequía.

El desarrollo y la aplicación de estas medidas requirió de la aprobación de una serie de obras de emergencia destinadas a la protección medioambiental, la mejora de la garantía, la mejora de la calidad de las aguas, la eficiencia del uso del agua y la mejora de las infraestructuras de suministro de agua.

3.5.- Situación de los futuros años

Si se tiene en cuenta los posibles efectos de calentamiento producidos por el cambio climático cuya previsión es alarmante para el futuro y, dado que ambos sistemas se encuentran en la vertiente mediterránea, se espera un descenso de las aportaciones de forma regular que puede

ir acompañado de eventos climáticos extremos producidos por los cambios generados en el clima.

Con metodologías como las que se van a explicar en el presente documento, se va a analizar si es posible prever los posibles cambios en los sistemas para que, junto con medidas del tipo técnicas y administrativas, sea posible encontrarse en el escenario de normalidad para ambos sistemas.



4.- Propuesta de nuevas actuaciones y recomendaciones

El PES propone una serie de actuaciones y unas recomendaciones para solventar los problemas que puedan surgir en épocas de escasez, con el fin de poder afrontar la próxima sequía. Las siguientes propuestas están basadas en el informe *Post - Sequía* de la CHJ correspondiente al periodo de sequía de 2004 - 2008.

4.1.- Propuesta de nuevas actuaciones del PES

En cuanto a propuestas concretas propone las siguientes:

- **Maximización de la reutilización de las aguas residuales depuradas** mediante la interconexión entre las EDARs con las comunidades de regantes. Además indica que la regulación debe de ser diaria, semanal o mensual, mediante balsas.
- **Mejora y modernización de las tomas de riego superficial**, especialmente con la automatización de los sistemas de apertura y cierre de los canales de derivación superficial en los tramos bajos del Júcar y Turia, que mejorarían el control de los caudales circulantes evitando maniobras erróneas con consecuencias ambientales en el río.
- **Modernización y mejora de la eficiencia del Canal Júcar - Turia**, especialmente en las conducciones principales y zonas agrícolas.
- **Mejora de la conexión entre las zonas de abastecimiento con las dos depuradoras** en el Área Metropolitana de Valencia **y aumento en la capacidad de almacenamiento** de agua bruta previa a las plantas y de agua tratada.

4.2.- Recomendaciones del PES para solventar los problemas y afrontar la próxima sequía

Las recomendaciones para afrontar la próxima sequía son las siguientes.

4.2.1.- Actuaciones de previsión y seguimiento de la sequía

4.2.1.1.- Mejora en el sistema de indicadores de sequía y revisión de umbrales

La mejora en el sistema de previsión y seguimiento es el elemento clave para afrontar el siguiente episodio de sequía. Se propone la modificación de los umbrales para la definición de los escenarios de Alerta y Emergencia y la activación de la Comisión Permanente de la Sequía al entrar en el escenario de Alerta.

Como recomendación, propone que cuando se entre en el escenario de Prealerta, se notifique a las comisiones de desembales correspondientes la situación de estado, para que sea tenida en cuenta a la hora de elaborar las propuestas de suministro.

Se propone también la revisión de las variables y los pesos del sistema de indicadores. Al analizar la última sequía del periodo 2004 - 2008 se puede comprobar que, si al incluir nuevas variables en el sistema, hubiese sido posible mejorar la anticipación al suceso. El uso de simulaciones de evolución del sistema en diferentes situaciones, mediante un indicador probabilístico o vinculado a distintos escenarios hidrológicos, puede dar una idea aproximada del riesgo asumido en la gestión del recurso, proporcionando información adicional para la anticipación.

Se propone la creación de un indicador específico para el sistema Júcar - Turia, relacionado con el abastecimiento al área metropolitana de Valencia. Este, también es uno de los objetivos del presente TFG.

Se propone la inclusión de indicadores de sequía meteorológica e hidrológica, para alcanzar un mayor grado de anticipación en la aplicación de las medidas de sequía, y la inclusión en la definición de escenarios de sequía de la tendencia registrada en los últimos meses en los indicadores de sequía.

Las mejoras propuestas en el informe Post Sequía referentes a los indicadores, resaltadas en el texto, son los objetivos que se van a aplicar en este estudio.

4.2.1.2.- Mejora del protocolo de Vigilancia Ambiental

El objetivo del protocolo es definir las medidas orientadas a prevenir efectos negativos de las sequías sobre el estado ecológico de las masas de agua superficial y masas de agua subterráneas. En cualquier sistema de explotación, casi siempre existen unos puntos críticos con zonas más vulnerables que revisten especial relevancia. Conviene identificar las zonas críticas, los parámetros indicadores de la situación (caudales, niveles, calidad del agua, etc), y establecer y/o mejorar dispositivos de control de los mismos, así como protocolos de gestión específicos que incluyan medidas a poner en marcha para evitar el deterioro de esos puntos críticos, y para mitigar la situación si esta llega a ser crítica. Las actuaciones llevadas a cabo durante la sequía 2005 - 2008 pueden protocolizarse e incluirse en el PES.

Se propone limitar las autorizaciones en los pozos de sequía, de forma individual (hasta menos de 1 Hm³) o mediante la definición sectores de explotación (hasta menos de 10 Hm³), y de los rebombes de sequía por condiciones ambientales y de calidad de agua, y vincularlos al seguimiento del comportamiento de los acuíferos y de las zonas húmedas que dependan de ellos; mediante una Red Específica de Sequía, integrada en la Red Operativa de la CHJ y la Red Complementaria de Sequía.

Se propone el estudio de protección de la fauna piscícola en condiciones de sequía, incorporando la posibilidad de establecer pozas para el refugio de peces, la disposición de difusores de oxígeno en puntos singulares, y el establecimiento de protocolos y mecanismos de actuación para la retirada de peces en embalses y tramos de río.

Se propone definir y crear un sistema de vigilancia y control de la continuidad río en el tramo medio del Júcar entre el embalse de Alarcón y el embalse de Molinar, en el tramo final del Júcar y en el tramo final del Turia. Mediante la implantación de diferentes medidores de nivel de agua

en el río y con el apoyo de simulación hidráulica, incorporando sistemas de alertas y protocolo de actuación en caso de detectar niveles anormalmente bajos.

Asegurar la continuidad del río en los tramos finales del río Turia y del río Júcar. En el caso del río Turia, analizar la interacción de los caudales del río con las derivaciones del canal de Daroqui. En el caso del río Júcar, analizar las necesidades de caudal aguas abajo del azud de Antella.

4.2.1.3.- Definición de horquillas de suministro en el escenario de Alerta y de Emergencia

La experiencia ha demostrado que ninguna sequía es idéntica a ninguna otra y que varía en función del sistema de explotación afectado; por ello, la gestión de las sequías, y su planificación, debe asumirse desde un enfoque flexible ya que las posibilidades son muy variadas, dependiendo de cada situación.

Se propone definir las horquillas de suministro superficial, y de otras fuentes de suministro, para las unidades de demanda de los sistemas de explotación para los escenarios de Prealerta, Alerta y Emergencia, basados en la experiencia de la sequía 2005 - 2008 y en el empleo de los modelos de simulación de los sistemas.

4.2.1.4.- Realización del Inventario de Infraestructuras para la sequía

Se propone realizar un inventario de las infraestructuras existentes para su utilización en condiciones de sequía y definir las labores periódicas de mantenimiento de todas las infraestructuras de sequía, para que en el futuro se encuentren totalmente operativas y listas para entrar en funcionamiento. De hecho, la experiencia de la sequía 2005 - 2008 mostró que fueron necesarias muchas actuaciones para la puesta en marcha de las infraestructuras ya existentes, que de haberse mantenido hubieran estado disponibles desde el inicio de la sequía.

Se propone la monitorización del estado de conservación de infraestructuras. La información periódica de obtención de recursos extraordinarios supone un canal de información que permite conocer el estado de conservación de dicha red de infraestructuras. Esta red está formada por las instalaciones de reutilización de aguas depuradas y la red de pozos y rebombes. El suministro de información por parte del agente explotador permite la continuidad de la llegada de información a la CHJ, así como el permanente conocimiento del estado de las instalaciones.

4.2.1.5.- Informe mensual del estado de la cuenca con previsiones trimestrales

Se propone la realización de informes mensuales de estado hidro - meteorológico de la cuenca, en los que se incluyan indicadores de sequía meteorológica, edáfica, hidrológica y de estado de los sistemas de recursos hídricos. Estos indicadores estarán orientados a la alerta temprana y seguimiento de la sequía, incluyendo información por sistema de explotación, por zonas de origen de recurso asociadas a unidades de demanda, la precipitación del último mes o

trimestre y la precipitación del año hidrológico, y el cálculo de la distribución espacial del porcentaje de desviación de la precipitación acumulada en el año hidrológico respecto a la precipitación media.

Se propone la elaboración trimestral de previsiones, de tipo determinístico y probabilístico, de evolución futura de reservas de agua en los embalses y de estado de las reservas a final de temporada, de cumplimiento de las restricciones ambientales y de suministro a los usuarios, a uno y dos años, con el objeto de conocer la evolución futura y los riesgos de entrar en sequía operativa. El cálculo de previsiones de evolución de los sistemas de explotación puede realizarse en diferentes momentos claves temporales, inicio del año hidrológico (octubre-noviembre), al final de periodo invernal (febrero), y antes del inicio de la campaña agrícola de riego (abril o mayo). Esta propuesta será la empleada en la metodología que se realiza en los pasos siguientes.

También se propone la posibilidad de establecer protocolos de aviso de alertas por riesgo de sequía edáfica para la agricultura y para las áreas forestales, debido en este caso al riesgo de incendios forestales.

4.2.1.6.- Desarrollo de las mejoras de monitoreo necesarias en la cuenca para la sequía

Definición de las necesidades de monitoreo adicional para la sequía de dos tipologías: instalaciones adicionales a las actuales para funcionamiento continuo y la definición de la red específica de la sequía para su activación durante la sequía. En este sentido se indican algunos ejemplos de redes complementarias necesarias:

- Instalación de medidores automáticos de niveles piezométricos, en los puntos más singulares (tramo medio del río Júcar, Albacete), nacimiento del río Verde.
- Instalación de estaciones de control de calidad de las aguas SAICA en diferentes puntos de los tramos bajos del río Júcar y Turia, así como a lo largo del Canal Júcar - Turia.
- Instalación de sistemas de monitoreo y control de las tomas del Canal Júcar - Turia y en las tomas de la Vega de Valencia. En el caso del Canal Júcar - Turia sería muy conveniente la modernización de la conducción principal de transporte con la posibilidad de incluir el transporte por tubería, separando la conducción para abastecimiento urbano de la de riego. De esta forma se evitan muchos problemas de control de funcionamiento, así como la contaminación por nitratos debido al vertido del caudal de los pozos de sequía, que pone en peligro la aptitud del agua para consumo urbano en caso de alcanzarse valores superiores a los admitidos de forma sistemática.

4.2.1.7.- Otras actuaciones

Se propone la posibilidad de explorar los mecanismos para la utilización del centro de intercambio de derechos para garantizar los caudales ambientales, y también los urbanos, en condiciones de sequía en el sistema Júcar - Turia.

Se propone la definición de un protocolo de informes socio - económicos por parte de los usuarios a la CPS durante la sequía.

Se propone reunir e informar a la Junta de Explotación tras la aprobación de las Obras de Emergencias previstas, tal y como se realizó durante la sequía. Cuando se proponen Obras de Emergencia por parte de la Confederación, se propone reunir a la Junta de Explotación del sistema donde se va a ejecutar la O.E. e informarla de todas las obligaciones que implica la realización de dichas obras.

4.2.1.8.- Inclusión de los aspectos relacionados con posibles cambios en el clima

Las incertidumbres derivadas de los estudios de cambio climático, requieren la inclusión de los posibles cambios en los análisis futuros de las condiciones de sequía y de las medidas a adoptar. El informe de la Comisión Europea "Climate Change and Water", IPCC Technical Paper VI. IPPC", de junio de 2008, indica la posibilidad de un incremento en la frecuencia e intensidad de sequías en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar, el cual debe tenerse en cuenta en los futuros análisis.

4.2.2.- Actuaciones encaminadas a la preparación de un nuevo episodio de sequía

A continuación se describe una lista de medidas concretas que pueden ayudar a solventar los problemas ocasionados por las sequías en las cuencas:

- **Medidas orientadas a prevenir efectos negativos de las sequías sobre el estado ecológico de las masas de agua superficial y subterráneas:**

- Identificar las zonas vulnerables del sistema para establecer y/o mejorar los dispositivos de control de dichas zonas.
- Protocolos de gestión que incluyan medidas para evitar el deterioro de las zonas vulnerables.
- Protocolos y dispositivos para la protección de las especies piscícolas en situaciones de sequía.

- **Medidas orientadas a asegurar el suministro a los usos urbanos durante las sequías:**

- Puesta al día y/o redacción de Planes de Emergencia de poblaciones mayores de 2.000 habitantes.
- Consideración especial en el plan de emergencia del papel de los pozos sustituidos por aportes de agua superficial en la gestión de sequías, estableciendo protocolos para su mantenimiento y su uso como pozos de emergencia y/o parte de las redes de riego.
- Fomento de redes separativas de suministro que posibiliten el uso de aguas de menor calidad y/o el uso de aguas regeneradas.
- Planes de mejora de los procesos de tratamiento de agua potable para evitar la disminución de calidad en los periodos de sequía.

- Planes de mejora de las capacidades de almacenamiento de agua bruta y tratada para evitar las interrupciones de suministro que, en ocasiones, no son debidas a la falta del recurso sino al ajuste de caudales en situaciones de sequía.
- Estudio y mejora de los mecanismos de concienciación ciudadana para el ahorro del agua en situaciones de sequía.

• **Medidas orientadas a disminuir el riesgo de déficit y la intensidad del mismo en el suministro a los usos agrarios:**

- Mejoras en los sistemas de control de tomas y utilización del agua para poder conocer, con mayor precisión, la cantidad de agua suministrada.
- Mayor integración de usuarios en comisiones de desembalse, para evitar que algunos sectores actúen sin directrices de ahorro ni control.
- Mejora del proceso de concienciación de los usuarios agrícolas.
- Completar las infraestructuras de utilización conjunta para los episodios de sequía.
- Modernización de los riegos de la Vega de Valencia y la Real Acequia de Moncada introduciendo sistemas de regulación y limitando los caudales circulantes, por las acequias y golgas, en horario nocturno.
- Reordenación de las acequias de la Vega de Valencia, optimizando sus trazados.
- Mejoras en las tomas de las acequias de los Pueblos Castillo para adaptarlas a las programaciones de sequía.

• **Medidas orientadas a mejorar la gobernanta y resolución de conflictos generados por la situación de sequía:**

- Elaboración de normas de explotación que coordinen y que activen con anticipación determinadas actuaciones.
- Adaptaciones de la estructura de distribución espacial y temporal de costes de actuaciones en el sistema de explotación que permitan fomentar el uso conjunto de aguas subterráneas en zonas de riegos tradicionales con derechos de aguas superficiales, con la consiguiente liberación de recursos superficiales para otros usos.
- Análisis y adaptación de los mecanismos empleados en la sequía de 2005 - 2008 para la adquisición de derechos por motivos ambientales.
- Constitución de mesas para el seguimiento de la gestión en puntos conflictivos en situación de sequía.

• **Actualización y/o modificación del PES.** Tanto las medidas propuestas en los puntos anteriores como las medidas de prácticas de gestión utilizadas durante la sequía 2004 - 2008 han de reflejarse en el PES. Los puntos de especial interés pueden ser los siguientes:

- Revisión de las variables y pesos del sistema de indicadores utilizado, así como la posible inclusión de nuevas variables en el sistema de indicadores que mejoren la anticipación.
- Especificar las limitaciones en las autorizaciones de los pozos de sequía y de los rebombes de sequía por condiciones ambientales y de calidad de agua.

• **Medidas específicas en el embalse de Alarcón y tramo del río Júcar en la zona de la Mancha Oriental**, orientadas al aseguramiento de caudales ambientales en dicho tramo.

- Reducciones temporales en la extracción de aguas subterráneas en la zona de mayor afección al río.
- Reducción temporal del suministro superficial sede Alarcón al abastecimiento urbano de la zona de Albacete, utilizando agua reposos para completar la dotación.
- Utilizar las reservas del embalse de Alarcón, cuando las aportaciones de su cuenca y la recarga del acuífero sean mínimas.
- Desarrollo de un sistema de monitorización y de indicadores en función de la situación del las reservas de Alarcón, la precipitación acumulada y del área de recarga del acuífero de la Mancha Oriental.
- Medidas de carácter ambiental: Plan de Vigilancia y Plan de policía y control del dominio público hidráulico.
- En caso necesario, activación del Centro de Intercambio de derechos para realizar ofertas públicas de adquisición y cesión de derechos de uso de agua con fines ambientales.
- Mejora del conocimiento de la relación río - acuífero.

• **Medidas específicas en el tramo final del Júcar y la vigilancia de la utilización de recursos adicionales:**

- Estudio del reparto espacial de la utilización de los pozos de sequía y rebombeos, así como los volúmenes máximos, teniendo en cuenta la minimización de los impactos ambientales en el río Júcar y en l'Albufera de Valencia.
- Realización de un Plan de Vigilancia ambiental del tramo final del río Júcar y de l'Albufera de Valencia que incluya medidas de control, de seguimiento ambiental y de evaluación de la eficacia de las actuaciones.
- Realización de un estudio de la evaluación de los aportes de agua y su procedencia a l'Albufera de Valencia en condiciones de sequía.

4.3.- Programa de medidas adoptado por la CHJ

El Plan hidrológico de la Confederación Hidrográfica del Júcar propone el siguiente plan de medidas, básicas y complementarias, cuya finalidad es la consecución de los objetivos medioambientales, basándose en criterios de racionalidad económica y sostenibilidad.

Se consideran medidas básicas a los requisitos mínimos que deben cumplirse en la demarcación, y medidas complementarias a aquellas que se deben de aplicar, en cada caso, para la consecución de los objetivos medioambientales.

El programa de medidas es el resultado de un proceso de coordinación, negociación, integración y ajuste que ha involucrado al Comité de Autoridades Competentes, diversas administraciones, ONGs, fundaciones y organizaciones sindicales y empresariales, así como los usuarios del agua. El programa de medidas adoptado fue el siguiente:

- **Mejora de la calidad de las masas de agua.** Incluye medidas de reducción de la contaminación puntual urbana e industrial, medidas de gestión de la contaminación difusa, de protección de agua potable y de reducción de emisiones, descargas y pérdidas de sustancias peligrosas prioritarias. Además se incluye el conjunto de medidas que se prevé para la mejora de la calidad en el Lago de l'Albufera de Valencia.
- **Mejora de las condiciones hidromorfológicas de las aguas superficiales.** Incluye medidas de mejora de la conectividad longitudinal en cauces, medidas de restauración de cauces y humedales, revegetación y adecuación del régimen de caudales.
- **Medidas de gestión de la demanda,** incluye la modernización de regadíos, cuyo principal objetivo es lograr un uso más sostenible y eficiente en la agricultura y la mejora de la eficiencia en el abastecimiento urbano e industrial, mediante actuaciones de mejoras de las redes de abastecimiento.
- **Medidas de incremento de disponibilidad de los recursos hídricos,** que incluye tanto recursos convencionales como recursos no convencionales, fundamentalmente reutilización y desalación.
- **Gestión del riesgo de inundación,** mediante medidas de defensa frente a inundaciones.
- **Resto de medidas** necesarias para dar cumplimiento a la Directiva Marco del Agua (DMA), que incluyen medidas de gobernanza, de política de precios, asesoramiento a la agricultura, etc.
- **Adecuación del programa de medidas al cambio climático.** Para que el programa sea eficaz debe tener en cuenta los efectos previsibles del cambio climático, como pueden ser la temperatura, precipitación, insolación, evaporación, etcétera. Los estudios llevados a cabo por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX sobre la evaluación de los efectos del Cambio Climático sobre los recursos hídricos (CEDEX-DGA, 2011a), el coeficiente de reducción global de las aportaciones a utilizar en la Demarcación Hidrográfica del Júcar para estudios a medio plazo (año 2027) sería del 12%. Además se incluye una medida de "Estudio de los efectos del cambio climático en la Demarcación Hidrográfica del Júcar y su repercusión en el estado de las masas de agua y garantía de los abastecimientos".

4.4.- Propuesta de nuevas actuaciones en el TFG

Después de observar el programa de medidas adoptado tanto por el PES como por la CHJ se han seleccionado 5 de las medidas propuestas por el PES en su informe Post - Sequía como base de este estudio:

1. Mejorar el sistema de previsión y seguimiento de la sequía.
2. El uso de simulaciones de evolución del sistema en diferentes situaciones.
3. Propuesta de la elaboración trimestral de previsiones, de tipo determinístico y probabilístico, de evolución futura de reservas de agua en los embalses y de estado de las reservas a final de temporada.

4. La revisión de las variables y los pesos del sistema de indicadores una vez obtenida la nueva metodología.
5. La creación de un indicador específico para el sistema Júcar - Turia.

Se procederá al estudio del año hidrológico 2004/05, incluido en el periodo analizado en el informe pos sequía, que determina la carencia de las medidas anteriores.

En los siguientes apartados se va a describir las actuaciones necesarias para cumplir con las medidas propuestas por el PES con el fin de minimizar el riesgo de las futuras sequías en el sistema Júcar - Turia.



5.- Metodología y Modelos a aplicar

La metodología que se va a aplicar en el presente TFG es la correspondiente, principalmente, al módulo Simrisk de la herramienta Aquatool; herramienta estadística del cálculo de estado en seguimiento de sequías.

Simrisk simula escenarios probables de estado que son usados en la toma de decisiones en sistemas de recursos hídricos complejos, especialmente en periodos de escasez. La aplicación de esta herramienta debe ejecutarse tanto en la planificación como en la explotación del recurso y debe además estar coordinada entre ambas.

En la fase de planificación es esencial obtener de forma adecuada las probabilidades de sufrir sequías operativas, intentando minimizar los valores esperados de intensidad, magnitud y duración. La forma de conseguirlo será mediante reglas de gestión utilizadas en su diseño.

En la fase de explotación se requiere un control más riguroso tanto del sistema como de sus elementos determinando, en cada momento, la probabilidad de estar o afrontar próximamente una sequía. Es en esta fase donde se va a centrar el siguiente estudio mediante el desarrollo de la metodología de gestión de sistemas de recursos hídricos (SSRRHH) con toma de decisión basada en el riesgo.

Existe un modelo Simrisk para el Turia y un modelo Simrisk para el Júcar. Para el cálculo de estado en seguimiento de sequías, se ha diseñado el modelo Simrisk para el sistema Júcar - Turia, basado en el modelo Simges.

Para poder predecir el comportamiento de las series de los sistemas de estudio se van a utilizar enfoques del tipo probabilístico, mediante la generación de series sintéticas multivariadas a escala mensual, a partir de la serie histórica de aportaciones en los sistemas Júcar y Turia. La serie de aportaciones históricas comenzará en el año hidrológico 1980/81 y finalizará en el año hidrológico 2004/05, con un total de 25 años, que incluyen tanto periodos de sequía extrema como periodos húmedos.

La metodología utilizada, para la toma de decisiones basada en la evaluación del riesgo, parte del volumen almacenado en los embalses, de la situación de los acuíferos y de los caudales circulantes en los ríos, y da como resultado información acerca de los riesgos asumidos para el futuro como consecuencia de utilizar el agua. La metodología aplicada está basada en los pasos del siguiente esquema, pero se finalizará en el paso 5:

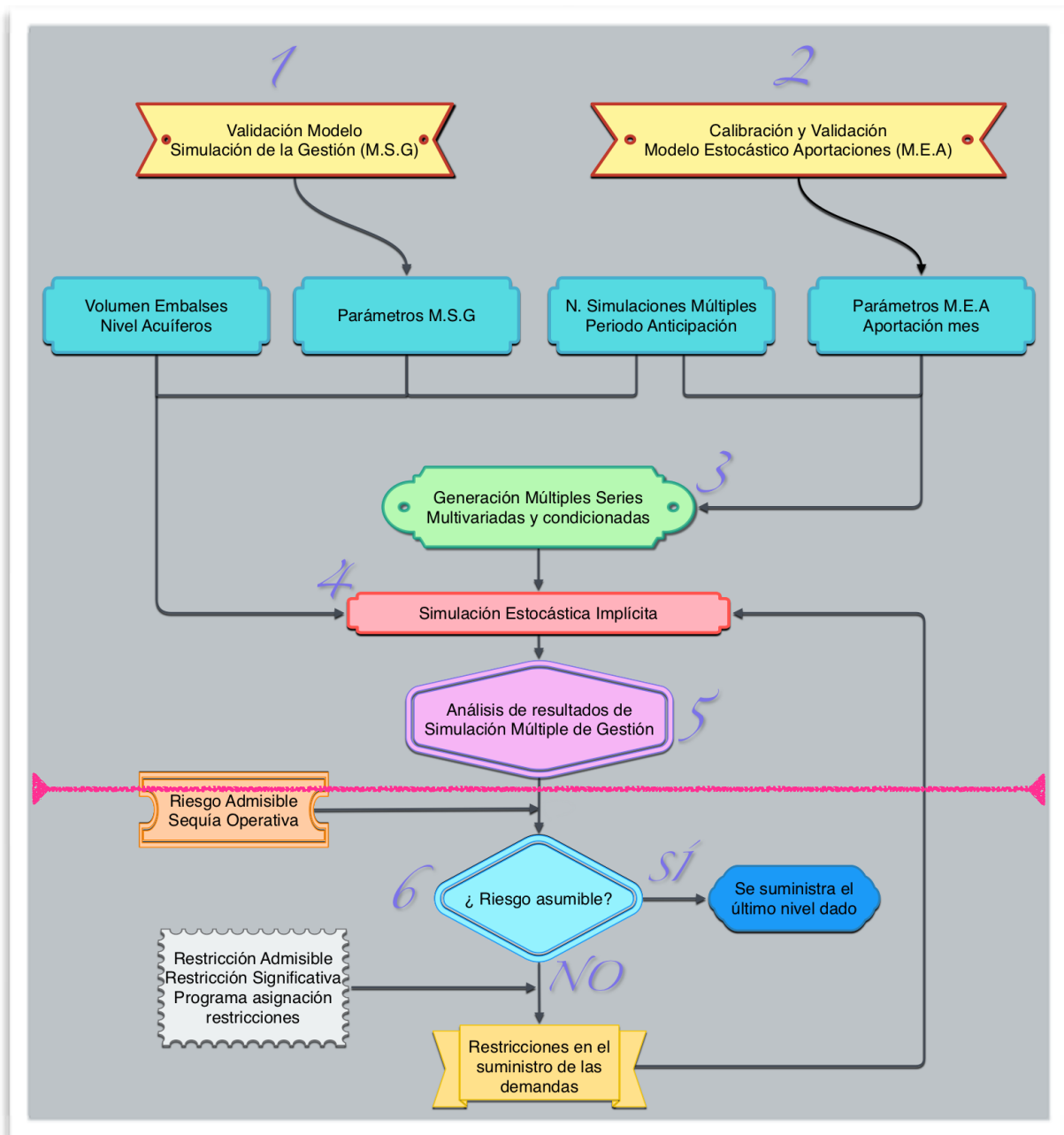


Ilustración 36: Pasos de la metodología con consideración del riesgo. Fuente: S.T Sánchez, 2001.

A continuación se resumen las herramientas y pasos utilizados:

- 1. Elaboración y Validación de un Modelo de Simulación de la Gestión.** Para ello se utiliza el complemento **Simges** de Aquatool. Se trata de un modelo general para la Simulación de la Gestión de Cuencas, o sistemas de recursos hidráulicos complejos, en los que se dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y de dispositivos de recarga artificial. Se utilizará para la calibración de un modelo de simulación de la gestión de los sistemas de recursos hídricos mediante reglas de operación deterministas.

- 2. Elaboración, Calibración y Validación de un Modelo Estocástico de Aportaciones en los puntos de aportaciones del modelo anterior.** Se consigue mediante el programa **Mashwin**. El modelo de análisis de series hidrológicas es un modelo de análisis estocástico de tipo mensual, destinado al estudio de series temporales de aportaciones pertenecientes a un sistema hidráulico. El programa, es capaz de escoger la estructura estocástica que mejor se ajusta al conjunto de series temporales de aportaciones dadas. El modelo Mashwin combina una modelación periódica estocástica mensual, mediante una modelación autorregresiva y de media móvil (ARMA) multivariada, con una desagregación espacial mensual por el modelo condensado de Lane.
- 3. Generación de Múltiples Series Multivariadas y condicionadas.** Para ello se empleará el programa **Mostwin** con los resultados del paso anterior. Se trata de la Modelación de Series Temporales en ambiente de Windows. Es un programa que se inserta como módulo independiente en el sistema de soporte a la decisión de Aquatool. Se ha concebido para la modelación estocástica de series temporales a escala mensual y anual. Sus resultados constituyen una parte de los datos de entrada para los módulos de Aquatool encargados de la simulación probabilística de los sistemas de recursos hídricos.
- 4. Simulación Estocástica Implícita de la evolución del sistema durante un periodo de anticipación dado.** Esto se hace posible mediante el módulo **Simrisk** de Aquatool. Se trata de un programa cuya aplicación en las cuencas, embalses y acuíferos tiene múltiples usos y objetivos, siendo su principal uso su utilización para la toma de decisiones en tiempo real, especialmente en la etapa de explotación de los recursos hídricos. Simrisk evalúa el riesgo de fallo por sequía operativa en una cuenca.
- 5. Análisis de los resultados proporcionados por la simulación múltiple y la estimación de la situación.** Según los resultados obtenidos por Simrisk en el paso anterior se puede conocer el riesgo asociado al nivel de suministro. Se proporciona una idea del estado del sistema para un escenario dado que hace posible determinar si será o no posible afrontar la sequía operativa. Este será el último paso que se ejecute siguiendo el esquema.
- 6. Decisión de aceptar o no el riesgo.** En el caso de que se quisiera continuar en el esquema anterior, existirían dos opciones:
 - ✓ **Sí:** Se acepta el riesgo y se suministra la demanda íntegra.
 - ✗ **No:** No se está satisfecho con los resultados obtenidos; por ello, es necesario asumir un grado de restricciones volviendo al paso 4, con el módulo de Simrisk, hasta llegar de nuevo al paso 6 en el que se vuelve a decidir si se acepta o no el riesgo.

Es necesario recalcar que para estimar las series generadas en el paso 4 es necesario incorporar los valores de las aportaciones de los dos meses anteriores al mes de simulación y los niveles de embalse del mes anterior al simulado, obtenidos de la serie histórica y del anuario de aforos del CEDEX, respectivamente; de esta manera, la gestión se realiza de forma actualizada y se obtienen así mejores valores que ayudan a la anticipación.

La descripción, de forma más detallada, de los pasos seguidos en el proceso del cálculo de las series sintéticas de los escenarios futuros del modelo de estudio, es la siguiente:

5.1.- Elaboración y Validación de un Modelo de Simulación de la Gestión

Inicialmente se parte de un modelo de simulación de la gestión en el que están representados cada uno de los sistemas de estudio (sistema de explotación Turia y sistema de explotación Júcar) en el programa Aquatool, y se diseña el el modelo del sistema Júcar - Turia, siendo este el modelo en el que se va a trabajar.

Aquatool es un Sistema Soporte de Decisión para la Planificación de Recursos Hídricos (SSD-PRRHH). Consiste en un sistema soporte de decisión (SSD) compuesto por un conjunto de programas con capacidades gráficas que incorporan modelos matemáticos de optimización, simulación y bases de datos.

El módulo para la simulación de la gestión de sistemas de recursos hídricos dentro de Aquatool se denomina Simwin, e incluye los modelos matemáticos Simges y Simrisk. Al tratarse de un módulo de simulación, las reglas de operación para cada elemento son proporcionadas por el usuario.

Simges es el modelo matemático escogido cuando la simulación se utiliza para la planificación mientras que, en la fase de explotación, se utiliza Simrisk para mejorar los recursos hídricos.

En este punto, se usará la herramienta Simges cuyos valores, comienzan en el año hidrológico 1980/81 (aportaciones, volúmenes de embalses, demandas, etc), y finalizan en el año hidrológico 2005/06. Se trata de un modelo matemático que realiza la simulación del sistema a escala mensual y admite elementos de regulación y almacenamiento tanto superficiales como subterráneos. En los subsistemas superficiales, el cálculo de flujo se calcula por continuidad, mientras que para los subsistemas subterráneos el flujo es simulado mediante modelos de celda unicelulares o pluricelulares.

El esquema original de partida es el siguiente:

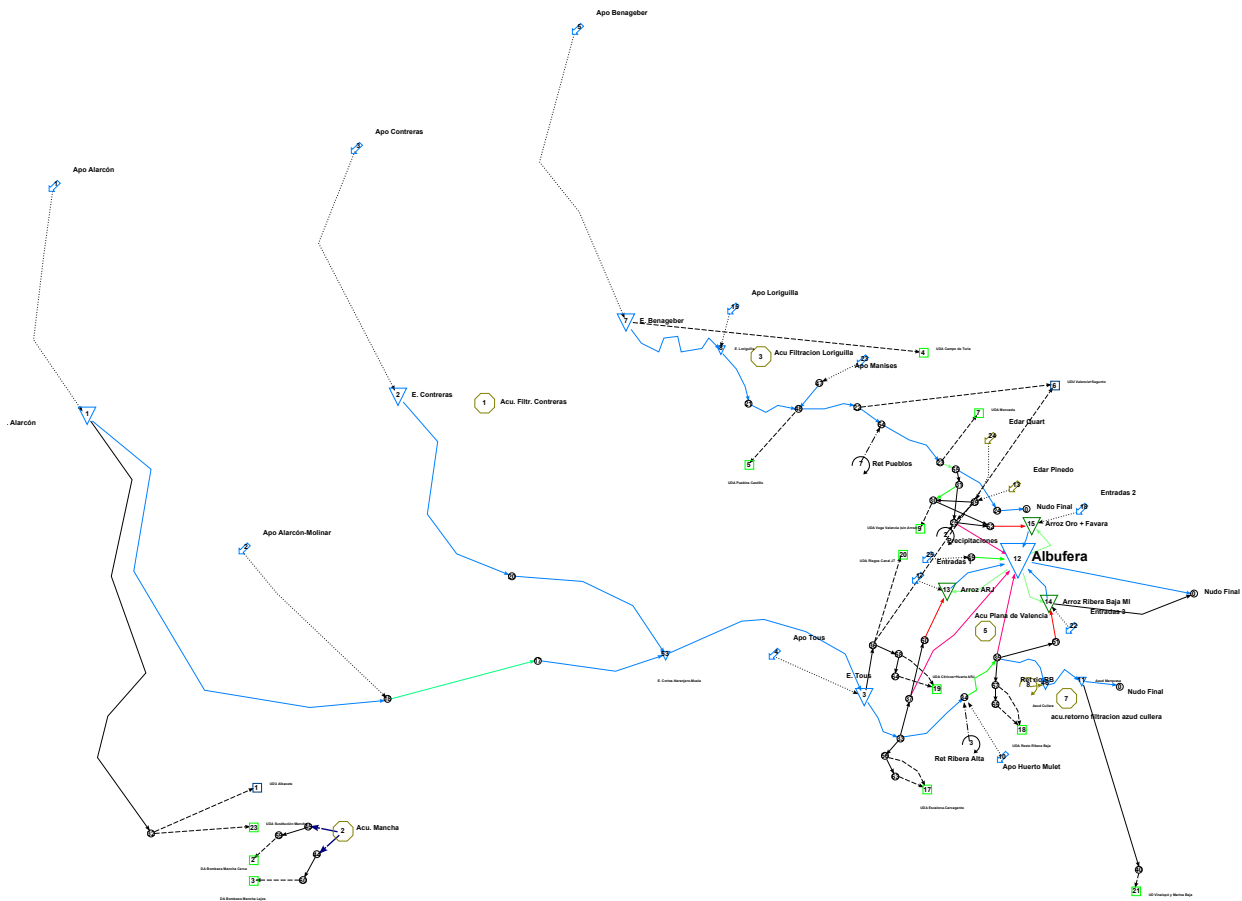


Ilustración 37: Modelo original de partida en Aquatool.

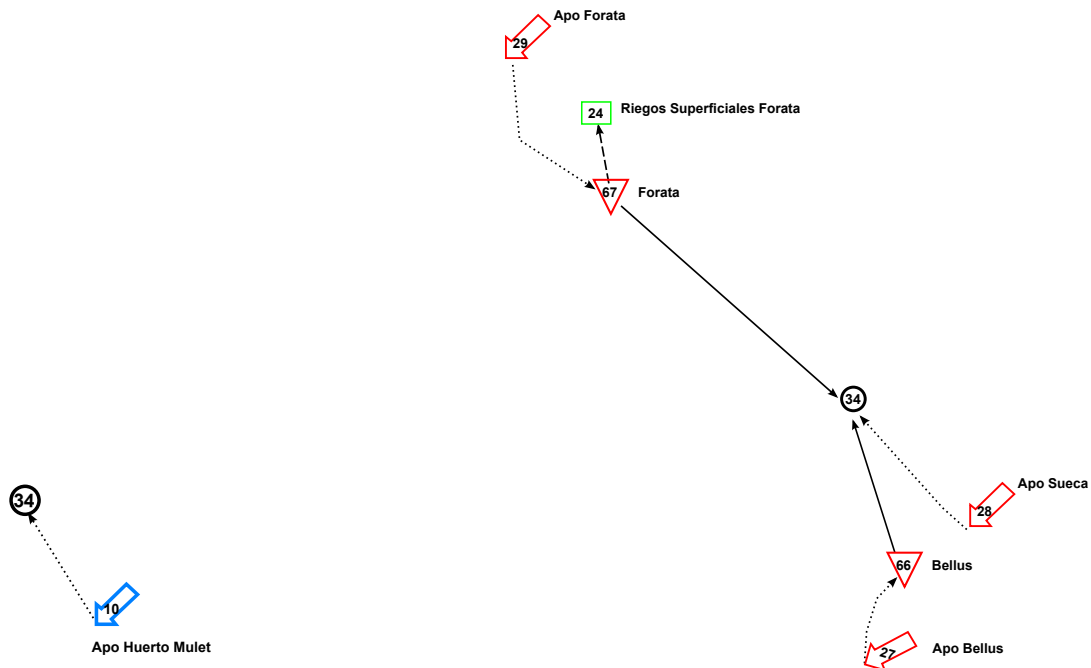
Los elementos representados para cada sistema son los siguientes:

Sistema Explotación	Embalses	Aportaciones	Demandas
Júcar	Alarcón, Contreras, El Naranjero, Cortes II, La Muela, Tous	Alarcón, Contreras, Alarcón - Molinar, Tous y Huerto Mulet	UDA Mancha Oriental, UDU Albacete, UDA Escalona - Carcagente, UDA Cítricos + Huerta, UDA Resto Ribera Baja, UDA Canal JT
Turia	Benagéber, Loriguilla	Benagéber, Loriguilla, Manises	UDA Campo del Turia, UDA Pueblos Castillo, UDA Moncada, UDA Vega Valencia, UDU Valencia + Sagunto

Además de la interconexión de ambos sistemas con la Albufera que se compone de tres entradas de aportaciones a la misma, junto con las entradas de las precipitaciones.

² Se va a proceder a la eliminación de la Aportación Huerto Mulet, situada en el nudo 34, con el fin de añadir dos embalses denominados Bellús y Forata, junto con la inclusión de las aportaciones Bellús, Forata y Sueca; además, en el embalse de Forata, se va a añadir una

demanda de Riegos Superficiales de Forata, en la que los bombeos existentes en la demanda subterránea se considerarán como déficit. Así el modelo será más similar al modelo original del sistema de explotación del Júcar y coincidirá con el Plan de la CHJ. Las ilustraciones siguientes muestran el cambio en el modelo:



Ilustraciones 38 y 39: Situación anterior y cambio e la aportación Huerto Mulet.

En las ilustraciones anteriores se tiene: a la izquierda, el modelo de estudio del sistema Júcar - Turia en su situación inicial, previo a la modificación; a la derecha, el cambio realizado tras eliminar la aportación de Huerto Mulet y añadir los elementos descritos con anterioridad, basados en el modelo en Simges del sistema de explotación Júcar.

Una vez realizados los cambios, el modelo de trabajo junto con las delimitaciones de los dos sistemas de explotación en Aquatool será el siguiente:

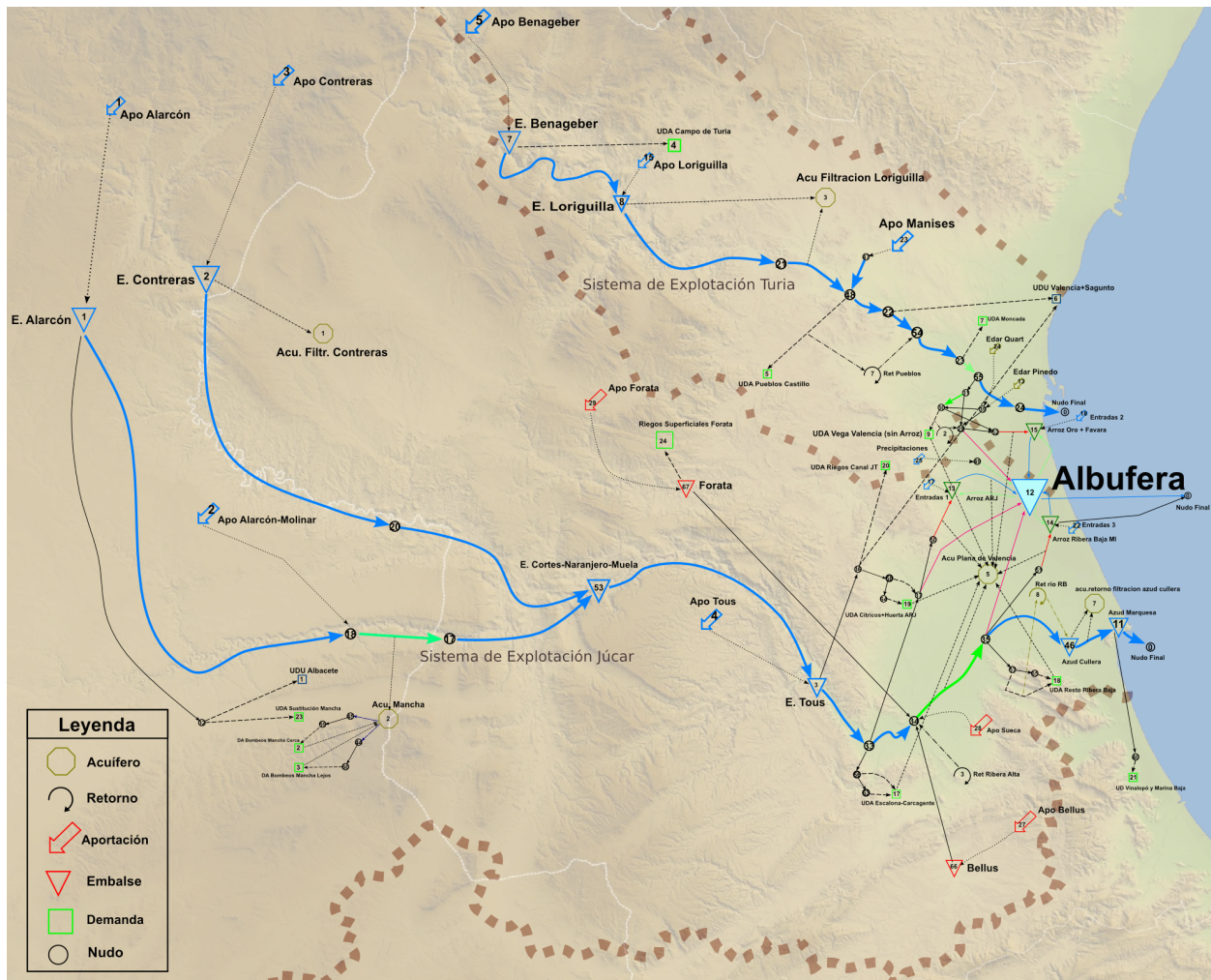


Ilustración 40: Modelo de trabajo en Aquatool.

El modelo representa todos los elementos característicos del sistema, como son los tipos de conducciones, los acuíferos, los embalses, los retornos, las aportaciones, los nudos y las demandas del sistema.

Obtenido el modelo de trabajo se procede a ejecutar el módulo Simges de Aquatool para obtener la serie histórica de aportaciones con comienzo en el año hidrológico 1980/81 y fin en el 2004/05. Es necesario recalcar que existen datos iniciales desde el año hidrológico 1940/41 pero tan sólo en algunos elementos; y que, todos los elementos, tienen valores hasta el año hidrológico 2005/06 pero, debido a un error en el modelo, el último mes de cada aportación es incorrecto ya que los valores de aportaciones son nulos. Dada la necesidad de trabajar con valores reales de aportaciones históricas, se ha optado por desechar el último año hidrológico para evitar resultados incorrectos y agilizar así los cálculos en los siguientes programas. En el **Anejo 1** se muestran los datos representativos de ambos sistemas del módulo Simges.

5.2.- Elaboración, Calibración y Validación del Modelo Estocástico de Aportaciones

El modelo de análisis de series hidrológicas es un modelo de análisis estocástico de tipo mensual, destinado al estudio de series temporales de aportaciones pertenecientes a un sistema hidráulico. Su utilidad consiste en ser capaz de escoger la estructura estocástica que mejor se ajuste al conjunto de series temporales de aportaciones dadas, que ayudará a conocer mejor el sistema hidráulico analizado y es un resultado previo para la generación de series sintéticas condicionadas.

En este apartado se usará el programa Mashwin. El modelo Maswin combina; para la realización del análisis de las series temporales de aportaciones correspondientes a un sistema hidráulico; una modelación periódica estocástica mensual mediante una modelación autoregresiva y de media móvil (ARMA) multivariada, con una desagregación espacial mensual por el modelo condensado de Lane. Además el modelo realiza una gran variedad de test de ajuste para todas las fases del análisis.

Los pasos que se han seguido, los resultados y la validación del modelo se encuentran en el **Anejo 2**.

5.3.- Generación de Múltiples Series Multivariadas y condicionadas

Se trata de la Modelación de Series Temporales en ambiente de Windows mediante el programa Mostwin. Es un programa que se inserta como módulo independiente en el sistema de soporte a la decisión de Aquatool.

Se ha concebido para la modelación estocástica de series temporales a escala mensual y anual. Sus resultados constituyen una parte de los datos de entrada para los módulos de Aquatool encargados de la simulación probabilística de los sistemas de recursos hídricos.

Mostwin está formado por dos módulos, cada uno de ellos puede trabajar de forma independiente. Uno de ellos es el módulo de calibración de modelos estadísticos, que se ha visto en el paso anterior; el otro módulo sirve para realizar la síntesis estocástica de caudales con los modelos previamente calibrados.

El módulo de síntesis de caudales calcula cuatro grupos de estadísticos:

1. Momentos de primer, segundo y tercer orden.
2. Correlogramas y autocorrelaciones.
3. Estadísticos de sequía.
4. Estadísticos de almacenamiento.

Una vez generada la serie sintética se procede a insertarla en el módulo Simrisk.

5.4.- Simulación Estocástica Implícita de la evolución del sistema

Para la simulación enfocada al riesgo se utilizará el módulo Simrisk de Aquatool. El programa permite la simulación múltiple de un sistema de recursos hídricos donde las múltiples aportaciones son obtenidas mediante la generación de series sintéticas, obtenidas con anterioridad. Éste módulo equivale a la autoejecución múltiple del módulo Simges tantas veces como series sintéticas se consideren, y tiene adicionalmente una subrutina que calcula varios índices de gestión del sistema de recursos hídricos.

Dentro de Aquatool, en el módulo de Simrisk, se va a insertar unos niveles de riesgo y de probabilidades de volumen para varios elementos, con el fin de poder analizar el sistema de explotación Júcar - Turia. Los porcentajes en los embalses y demandas serán los siguientes:

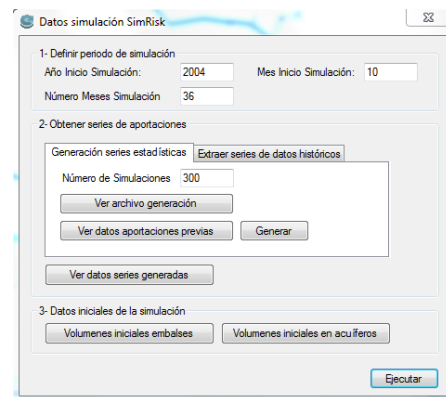
Nivel de riesgo (%)	% de vol. para prob.
0,1	10
1	20
5	30
10	40
20	50
50	60
80	70
90	80
95	90
99	99
99,9	

Para analizar los sistemas de explotación Júcar y Turia se van a insertar los porcentajes anteriores en los siguientes elementos:

- UDA Riegos Canal JT (sistema Júcar - Turia)
- Total Alarcón + Contreras + Tous (sistema Júcar)
- Total Benagéber + Loriguilla (sistema Turia)
- Total Júcar + Turia (sistema Júcar - Turia)

Los resultados que se obtengan en la Unidad de Demanda Agraria de Riegos del Canal Júcar - Turia servirán de referencia para la previsión de los riegos agrarios en ambos sistemas de explotación. Los indicadores restantes, corresponden con los embalses principales de cada uno de los sistemas e indicarán la previsión en las demandas y suministros del sistema de explotación Júcar - Turia.

Dentro del módulo Simrisk, será necesario definir el mes y el año de inicio de la simulación; la duración de la simulación en meses; el número de simulaciones; la serie sintética de aportaciones generada con Mostwin y los datos iniciales de aportaciones, volúmenes en embalses y volúmenes en los acuíferos. Los datos de aportaciones y volúmenes de embalse iniciales se encuentran en el **Anejo 4**.



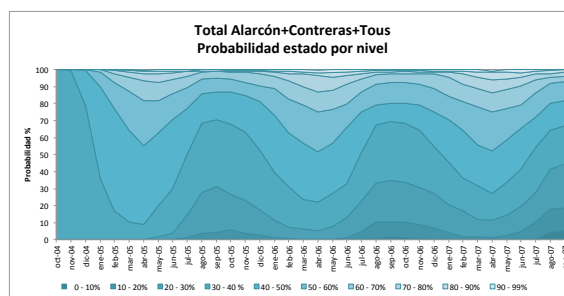
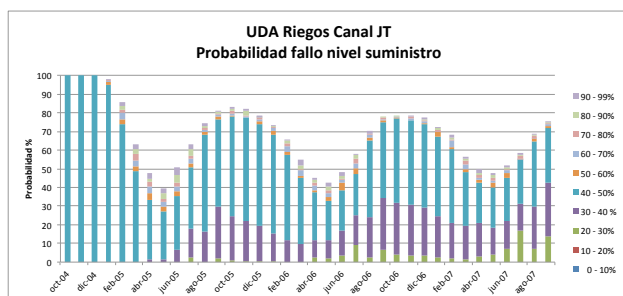
Para los volúmenes iniciales de los acuíferos de filtración se ha buscado un valor que consiga que sean estacionarios; esto se consigue iterando en Simges hasta conseguirlo. Finalmente los volúmenes iniciales de los acuíferos serán los siguientes:

Acuífero	Volumen inicial
Acu. Filtración Loriguilla	-30
Acu. Plana de Valencia	0
Acu. Filtr. Contreras	2,7
Acu. Mancha - V1	-5.125
Acu. Mancha - V2	-3,5
Acu. retorno filtr. azud Cullera	0

Determinados todos los parámetros, se ejecuta el módulo de Simrisk y se obtienen diferentes gráficos para los elementos de estudio. Estos gráficos están representados en el **Anejo 3**.

5.5.- Análisis de los resultados de la simulación y estimación de la situación

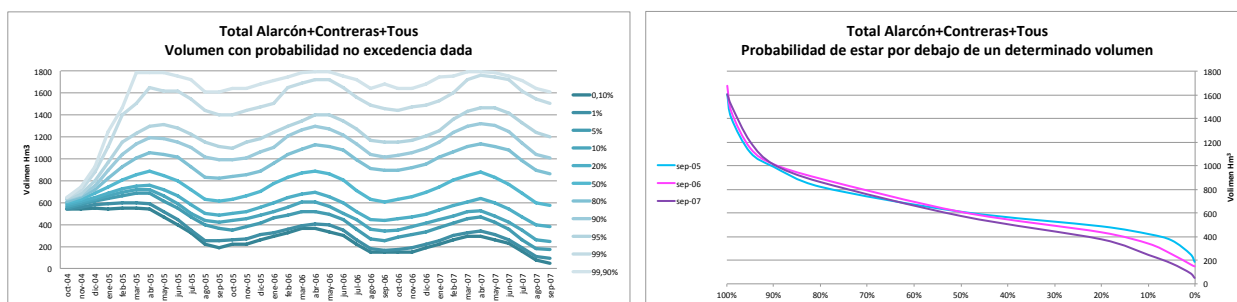
Según los resultados obtenidos por Simrisk en el paso anterior, se puede conocer el riesgo asociado al nivel de suministro. Con los resultados de la series sintéticas generadas, es posible determinar el estado del sistema para un escenario dado, y con ello saber si será o no posible afrontar la sequía operativa. Los resultados que se obtienen son gráficos de este tipo:



El gráfico de la izquierda representa la Unidad de Demanda Agraria de Riegos del Canal Júcar - Turia sirven de referencia para la previsión de los riegos agrarios en el sistema. En los meses siguientes a la simulación es posible determinar con certeza si habrá o no fallo en el suministro de las demandas, pero conforme se avanza la simulación aparecen diferentes probabilidades, siendo las más óptimas las correspondientes a los meses de primavera. Esto concuerda con la

realidad ya que normalmente en primavera es cuando los registros de las aportaciones son mayores.

En el gráfico de la derecha representa la probabilidad de estado por nivel en los embalses del Júcar entre un porcentaje de su capacidad, pintando con bandas la probabilidad de estar en un determinado nivel. De igual forma que el gráfico de la izquierda, el periodo de primavera es el que tiene más probabilidad de tener mayores niveles en los embalses y el periodo correspondiente al final del verano es el más crítico de la serie debido a la disminución de precipitaciones junto con el aumento de las temperaturas y los incrementos de los riegos de los cultivos. Este gráfico también representa la escasa probabilidad de encontrar los embalses del Júcar en la totalidad de su capacidad.



En el gráfico de la izquierda se obtiene la probabilidad de referencia de estado del volumen del embalse de la serie generada. Mediante diferentes probabilidades se puede obtener, de forma aproximada, el nivel del embalse para cada porcentaje. Como el gráfico tiene demasiados datos se ha propuesto hacer cortes transversales, explicados en el **Anejo 3**, en el último mes de cada año hidrológico, obteniendo así gráficos como el de la derecha.

El gráfico de la izquierda representa la probabilidad de encontrarse por debajo de un determinado volumen en el mes de septiembre de cada año hidrológico representado en el gráfico anterior. Además se puede analizar la evolución de la serie sintética en el sistema conforme avanza la simulación.

Tras una breve descripción de los resultados obtenidos en Simrisk, se incluyen de forma más detallada las características de estos gráficos en **Anejo 3**.

Se concluye diciendo que los gráficos anteriores contienen demasiada información y son difíciles de comprender; por eso, se va a desarrollar en la propuesta metodológica de la evaluación de riesgos unos nuevos gráficos que faciliten la comprensión de los resultados y que, visualmente, den una idea rápida del estado del sistema.

6.- Propuesta metodológica en la evaluación de riesgos

La propuesta metodológica para aplicar en la evaluación de riesgos en seguimiento de sequía, surge de la necesidad de anticiparse al evento, obteniendo resultados fiables y fáciles de comprender, para así poder aplicar las actuaciones correspondientes con el fin de minimizar el riesgo de sequía. Esta basada con las conclusiones obtenidas en el informe post - sequía del PES.

6.1.- Antecedentes

En el año 2000 la Oficina de Planificación Hidrológica de la CHJ, siguiendo las indicaciones de la Subdirección General de Planificación Hidrológica, puso en marcha un sistema de indicadores de seguimiento de la sequía, que ha permitido desde entonces el control y vigilancia del estado hidrológico de los distintos sistemas de explotación de la cuenca y la elaboración de informes periódicos.

El sistema de indicadores de carácter hidrológico, tiene como finalidad caracterizar la sequía hidrológica y servir como instrumento de ayuda a la toma de decisiones relativas a la gestión de los recursos hídricos de la cuenca. Los indicadores se han desarrollado siguiendo el siguiente esquema metodológico:

- Identificación de las zonas de origen de recurso asociadas a determinadas unidades de demanda.
- Selección del indicador más representativo de la evolución de la oferta de recursos existente en cada una de las unidades de demanda.
- Recopilación de la series hidrológicas temporales asociadas a cada uno de los indicadores.
- Ponderación de los indicadores para obtener resultados representativos de la situación de sequía en los sistemas de explotación.
- Validación de los indicadores mediante el seguimiento continuo de las series hidrológicas asociadas a los indicadores junto con la elaboración de los correspondientes informes periódicos.

Las tipologías consideradas para reflejar la disponibilidad de recursos son la siguientes:

- Volumen almacenado en embalses superficiales.
- Niveles piezométricos en acuíferos.
- Aportaciones fluviales en régimen natural.
- Pluviometría areal.

No son tenidos en cuenta los parámetros de carácter estrictamente ambiental, debido a la carencia de datos a la hora de establecer series temporales; sin embargo, con el seguimiento de los indicadores se puede obtener mucha información de estos parámetros.

El PES ha determinado un índice global para cada sistema que refleja los periodos de sequía históricos y los valores que corresponden con cuatro niveles de agravamiento de sequía: normalidad, prealerta, alerta y emergencia. En base a los umbrales, se han determinado cuatro escenarios de los que ya se había hablado con anterioridad:

- $le \geq 0,5$ → Escenario de normalidad
 - $0,5 > le \geq 0,3$ → Escenario de prealerta
 - $0,3 > le \geq 0,15$ → Escenario de alerta
 - $le > 0,15$ → Escenario de emergencia
- le** = Índice de estado

<i>Riesgo</i>	<i>Valor Índice Estado</i>	<i>Estado</i>
Muy Bajo	0,75 – 1,00	NORMALIDAD
Bajo	0,50 – 0,75	PREALERTA
Medio	0,30 – 0,49	ALERTA
Alto	0,15 – 0,29	EMERGENCIA
Muy Alto	0,00 – 0,14	EMERGENCIA

Anteriormente, en el apartado de *medidas que minimizan el riesgo* se ha descrito el tipo de actuación según el estado del sistema. A continuación se va a explicar las relaciones existentes entre los escenarios de sequía y los volúmenes de los embalses para cada escenario:

- **Normalidad:** Los recursos se sitúan por encima de la media histórica. Garantiza la satisfacción de todas las demandas por un año y las demandas urbanas por un periodo superior a 4 años.
- **Prealerta:** Los recursos no pueden garantizar la satisfacción de todas las demandas. Se fija como objetivo garantizar las demandas urbanas entre 2 y 4 años y las agrícolas a un año con un déficit de suministro inferior al 17%.
- **Alerta:** Los recursos no pueden garantizar la satisfacción de todas las demandas. Se fija como objetivo garantizar las demandas urbanas entre 1 y 2 años y las agrícolas a un año con un déficit de suministro inferior al 32%.
- **Emergencia:** Los recursos no pueden garantizar la satisfacción de todas las demandas. Se fija como objetivo garantizar las demandas urbanas en al menos 1 año.

La Confederación Hidrográfica del Júcar publica mensualmente el documento "*Informe de seguimiento de indicadores de sequía en el ámbito territorial de la confederación*", en el que se recoge la evolución de los 34 indicadores de sequía operativa definidos en la CHJ, junto con los índices globales de cada sistema de explotación y un índice global de la CHJ y los escenarios correspondientes.

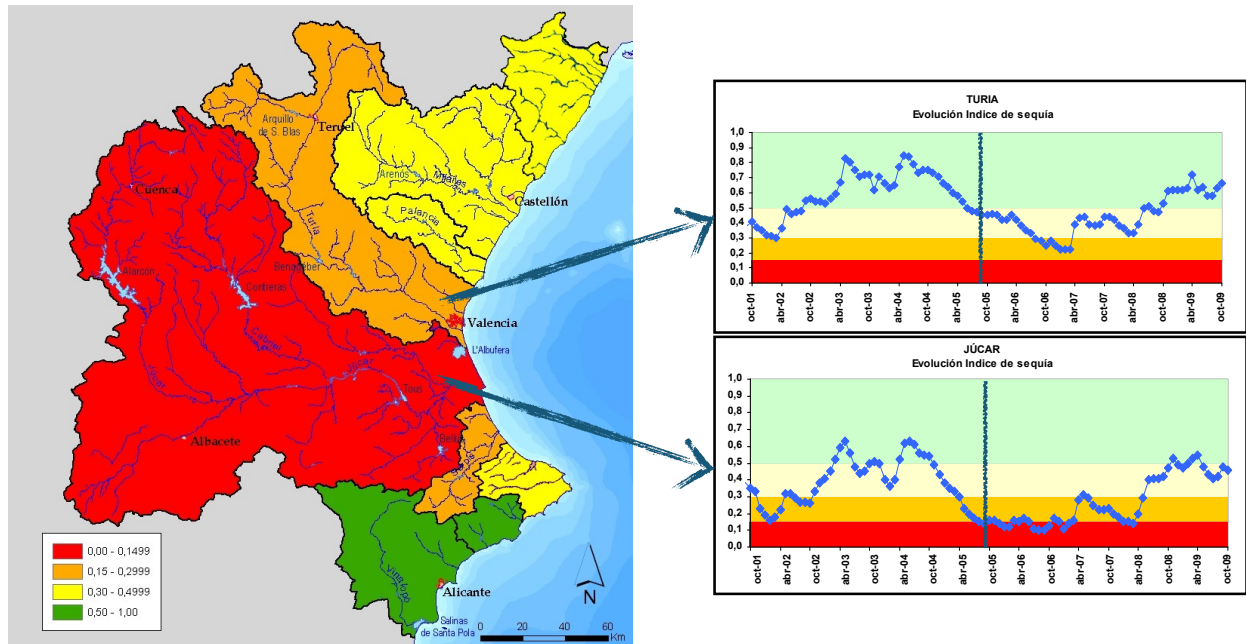


Ilustración 41: Indicadores de sequía. Fuente: Informe post - sequía, apartado 10 PES.

En las ilustraciones anteriores se tiene: a la izquierda, la evolución temporal de los indicadores globales por sistemas, correspondiente a mayo de 2007; a la derecha, la evolución temporal de los indicadores de sequía en los sistemas Júcar y Turia en el periodo de octubre 2001 a octubre 2009.

La representación de la ilustración de la izquierda sirve de poca utilidad ya que únicamente da un valor agregado por sistema de explotación, enmascarando la situación particular de cada sistema, siendo insuficiente a la hora de aplicar actuaciones de mitigación; por otro lado, las evoluciones temporales de las ilustraciones de la derecha representan la situación mensual de estado de cada sistema de explotación, siendo esencial a la hora de la aplicación de las medidas de mitigación. La evolución temporal por sistema se tomará como base para la metodología propuesta.

Se ha determinado tomar como referencia el mes de septiembre, por ser el último mes del año hidrológico y dar información sobre el estado de los embalses en el sistema. Si el mes de septiembre tiene un buen pronóstico es muy probable que el siguiente año hidrológico también lo tenga, o al menos comenzará con buenas previsiones.

Se va a realizar un seguimiento de la sequía durante el año hidrológico 2004/05, por lo que se analizará como referencia el mes de septiembre de 2005, para después comparar los resultados con los que se obtengan de la nueva metodología y determinar así si el nuevo método mejora los resultados del PES.

En ese mes de septiembre, representado por el PES, el sistema Turia se encuentra en el límite superior del escenario de prealerta, indicando abundancia de recursos y la posibilidad de suministrar aproximadamente la totalidad de las demandas; sin embargo, ese mismo mes en el sistema Júcar, se encuentra en los límites inferiores del escenario de alerta, implicando una carencia de suministro que no posibilita el suministro a todas las demandas ni los riegos. A

partir de septiembre de 2005 los resultados empeoran para el Júcar, haciendo que el Turia también empeore debido a que ambos sistemas trabajan de forma conjunta.

Los gráficos del PES están basados únicamente en las aportaciones sin tener en cuenta el volumen de los embalses y la previsión de la gestión de la demanda, por lo que se va a proponer una metodología que contenga todas las esas variables y que se anticipe al evento mediante la generación de series equiprobables a las aportaciones reales; se comprobarán los resultados con los obtenidos por el PES.

6.2.- Propuesta

La propuesta metodológica que se va a aplicar, de forma resumida, será la siguiente:

- **Primero:** Aplicación de las bandas de estado del PES en los gráficos de volúmenes representados en el **Anejo 3** en función de la capacidad máxima de embalse, especialmente en los gráficos que corresponden con los cortes transversales del mes de septiembre.
- **Segundo:** Aplicación de una probabilidad de referencia, en los gráficos obtenidos en el paso anterior, correspondiente al 80%.
- **Tercero:** Propuesta de una anticipación tal que se obtengan resultados fiables.

A continuación se desarrollarán los pasos de la metodología propuesta.

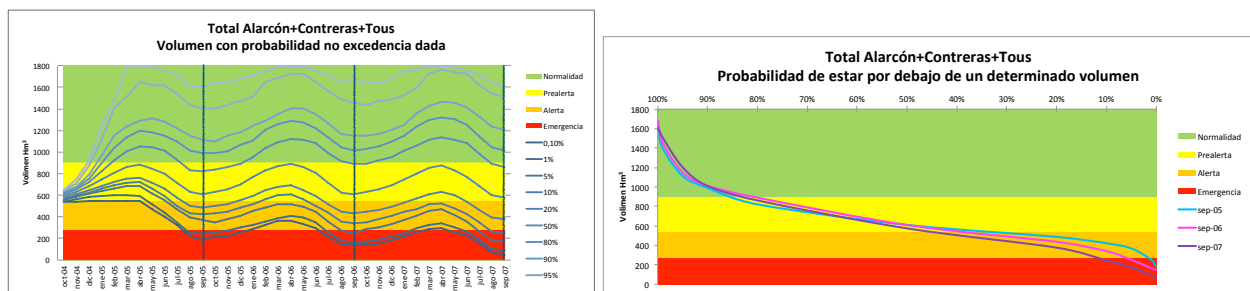
Primero: se va a realizar el mismo gráfico tipo de bandas de estado que usa el PES; para ello será necesario determinar la capacidad máxima de los embalses principales de cada sistema:

	Embalse	Capacidad máxima (Hm)	Capacidad máxima del indicador (Hm)	
Júcar	Alarcón	1.112	1.796	2.039,76
	Contreras	444		
	Tous	240		
Turia	Benageber	221,34	243,76	
	Loriguilla	22,42		

Una vez determinada la capacidad máxima, al aplicar los índices de estado del PES, se obtienen los siguientes valores para las bandas de estado que se representarán en las gráficas:

Sistema de Estudio	Estado	Hm
Sistema Explotación Júcar	Normalidad	1.796 - 898
	Prealerta	898 - 538,80
	Alerta	538,80 - 269,40
	Emergencia	269,4 - 0
Sistema Explotación Turia	Normalidad	243,76 - 121,88
	Prealerta	121,88 - 73,13
	Alerta	73,13 - 36,56
	Emergencia	36,56 - 0
Sistema Explotación Júcar - Turia	Normalidad	2.039,76 - 1.019,88
	Prealerta	1.019,88 - 611,93
	Alerta	611,93 - 305,96
	Emergencia	305,96 - 0

Si se aplica la leyenda del PES en los gráficos obtenidos por Simrisk, representados en el **Anejo 3**, se obtiene unos gráficos de este tipo (ejemplo con el Júcar):



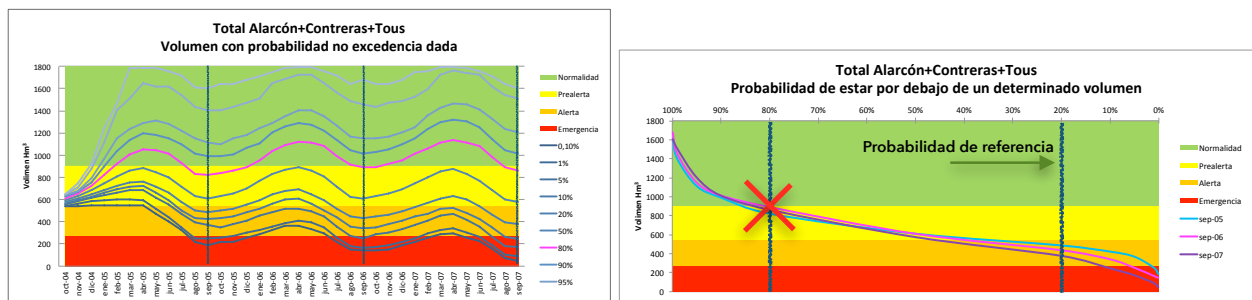
El gráfico de la izquierda sigue conteniendo demasiada información y sigue siendo complicada su lectura; sin embargo, el gráfico de la derecha facilita la lectura de los datos, de él se pueden sacar las siguientes conclusiones:

En el gráfico correspondiente a los distintos meses de septiembre existe un 85% de probabilidad de que el Júcar se encuentre por debajo del escenario de prealerta tanto en septiembre de 2005 como en los siguientes; el primer septiembre de la serie sintética tiene muy pocas probabilidades de que los embalses se queden vacíos, o lo que es lo mismo, que el sistema se sitúe en el escenario de emergencia; pero, conforme avanza la simulación, la probabilidad aumenta, aunque también la incertidumbre de que se cumpla esa situación.

Segundo: una vez obtenido el gráfico de bandas que resume la situación del último mes del año hidrológico, se va a determinar una probabilidad de referencia para establecer cómo ha sido ese mismo año hidrológico.

La Confederación Hidrográfica del Júcar ha estado utilizado, habitualmente en sus informes, la probabilidad de referencia correspondiente con el 80%, para determinar de forma rápida el estado del sistema. Dado que la CHJ ha estado utilizando dicho valor para el sistema Júcar, en nuestra propuesta también se va a mantener esa probabilidad, por tratarse de un valor suficientemente alto aunque no sólo se aplicará en el Júcar, sino también en el Turia, para así poder comparar ambos sistemas entre sí. A la probabilidad de 80% se le denominará *probabilidad de referencia*.

Si se señala la probabilidad de referencia en los gráficos de bandas obtenidos se tiene lo siguiente:



En el gráfico de la izquierda la probabilidad de referencia del estado de volumen del embalse, representada de color rosa, indica que el sistema se encontrará, como máximo, en estado de normalidad (incluyendo la posibilidad de estado en prealerta, alerta o emergencia) en la totalidad de los años representados, exceptuando el mes de septiembre de 2005 en el que disminuye hasta alcanzar el escenario de prealerta.

En el gráfico de la derecha es necesario definir la probabilidad de referencia. Dado que este tipo de gráfico corresponde con la probabilidad de estar por debajo de un determinado volumen, el 20% del eje horizontal indica que existirá un 80% de probabilidad de encontrarse por encima de esa situación y será por lo tanto, el 20%, la probabilidad de referencia en todos los gráficos del ese mismo tipo. Los resultados que se obtienen de ese mismo gráfico indican que en el 80% de los casos el Júcar estará por encima del escenario de alerta, aunque sólo un 20% de probabilidad asegura que se estará en el escenario de la normalidad.

Con la inclusión de esta probabilidad de referencia a los gráficos a es mucho más sencillo visualizar los resultados. Para los siguientes apartados sólo se tendrán en cuenta los gráficos correspondientes con la probabilidad de estado por volumen (el gráfico de la derecha), ya que representa menos datos y se visualizan mejor los resultados.

Tercero: Se ha propuesto hacer un seguimiento de la sequía del año hidrológico 2004/05, para el caso del Júcar, sabiendo que el PES ha determinado que la situación en septiembre del año 2005 estaba en el límite entre el escenario de alerta con el del emergencia, con lo que surgen las siguientes cuestiones:

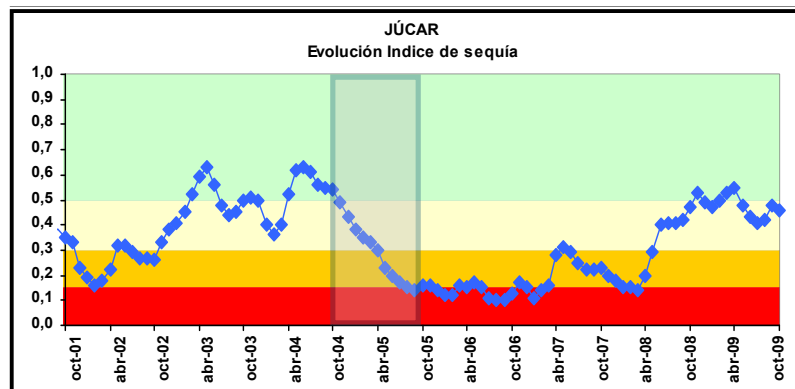
- ¿Es posible anticiparse al evento de sequía?
- ¿Es posible determinar el pronóstico, a corto plazo, desde un mes cualquiera? Y si hubiese sido así, ¿Cuál sería la antelación necesaria para determinarlo?

Con anterioridad se ha determinado que una de las propuestas del PES es la elaboración trimestral de previsiones, de tipo determinístico y probabilístico, de evolución futura de reservas de agua en los embalses y de estado de las reservas a final de temporada.

Para aplicar la propuesta y responder así a las cuestiones anteriores se ha determinado una serie de simulaciones trimestrales partiendo desde octubre de 2004, enero de 2005, abril de 2005 y julio de 2005 con vista al mes de septiembre de 2005 y se contrastarán los resultados con los obtenidos por el PES.

6.3.- Validación

En este punto, se va a hacer un seguimiento de la sequía durante el año hidrológico 2004/05 para así validar los resultados que se obtengan mediante las series sintéticas con los gráficos representados por el PES.

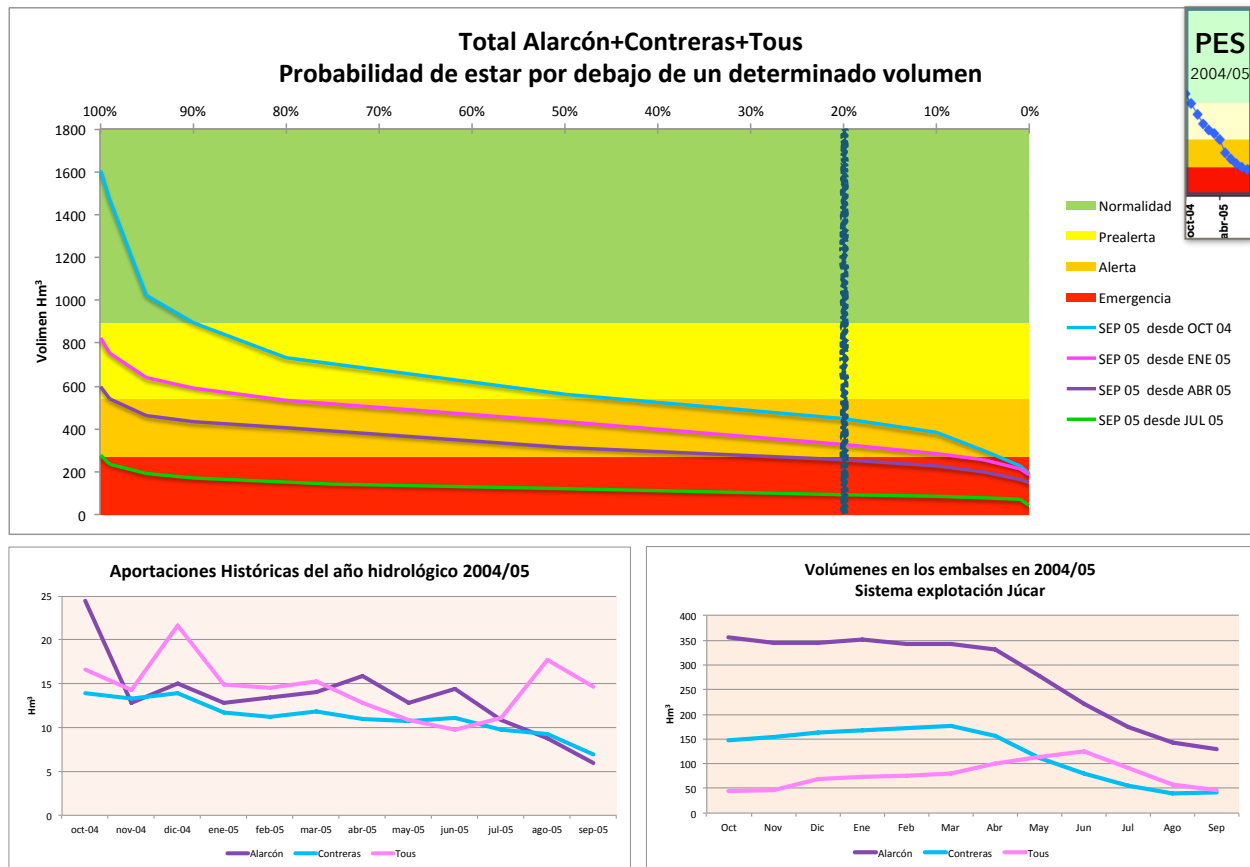


El origen se sitúa en el mes de septiembre de 2004 que, según el PES, comienza en el escenario de normalidad para acabar en el escenario de alerta - emergencia; si hoy estamos a septiembre de 2004 ¿Cuál sería el pronóstico dentro de 12 meses? ¿Y el pronóstico de septiembre de 2005 en otro mes de ese mismo año hidrológico?

El periodo de anticipación será aquel, con vista al mes horizonte, del que se desee evaluar su estado. En este caso, se ha optado por el estudio del horizonte a corto plazo, en el que se calculará, de forma trimestral, el mes de estudio, para analizar así su comportamiento en las distintas situaciones. El mes horizonte será septiembre y se analizarán los resultados partiendo desde octubre, enero, abril y julio del mismo año hidrológico.

Para la obtención de estos gráficos es necesario incluir en Simrisk los valores de las aportaciones y volúmenes de embalses iniciales. Todos los datos están reflejados en el **Anejo 4**.

Para poder hacer un mejor análisis de los resultados que se obtienen a continuación, se van a representar las aportaciones hidrológicas y los volúmenes de los embalses iniciales; la simulación, con origen trimestral y horizonte septiembre 2005, es la siguiente:

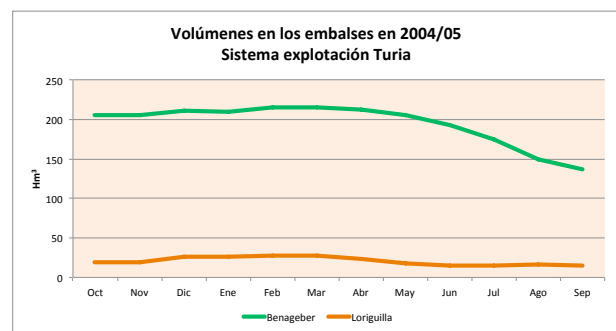
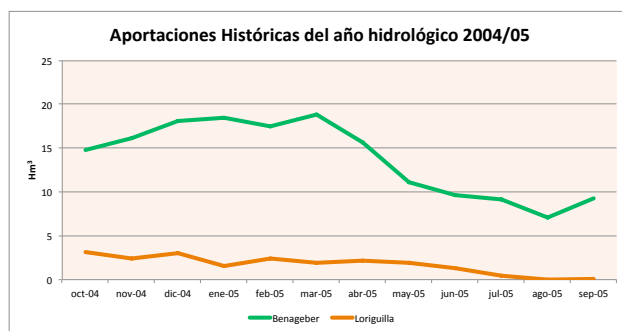
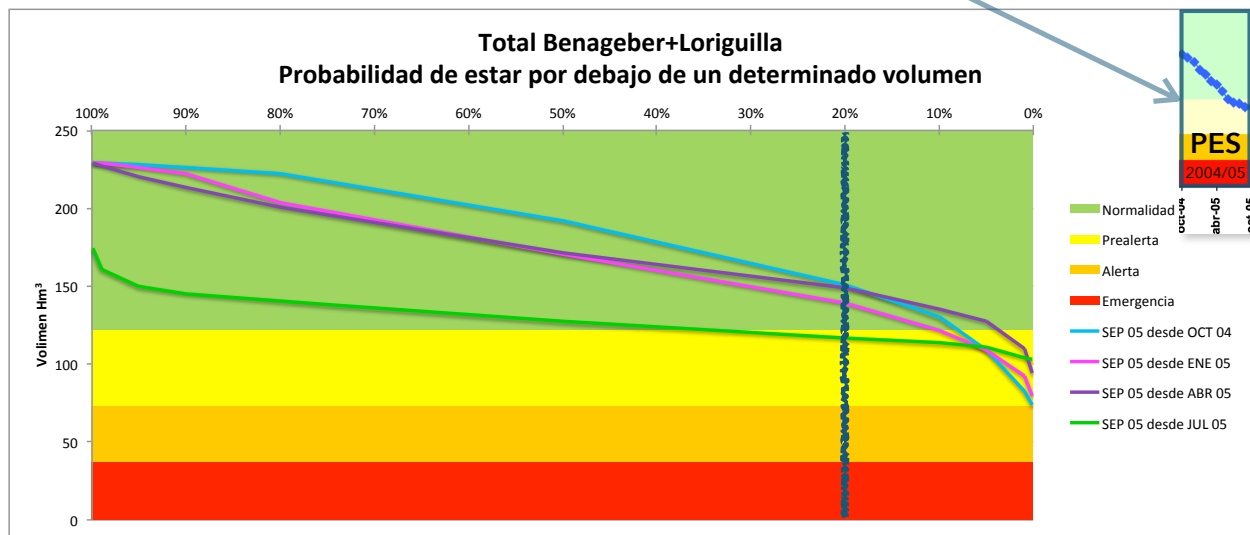
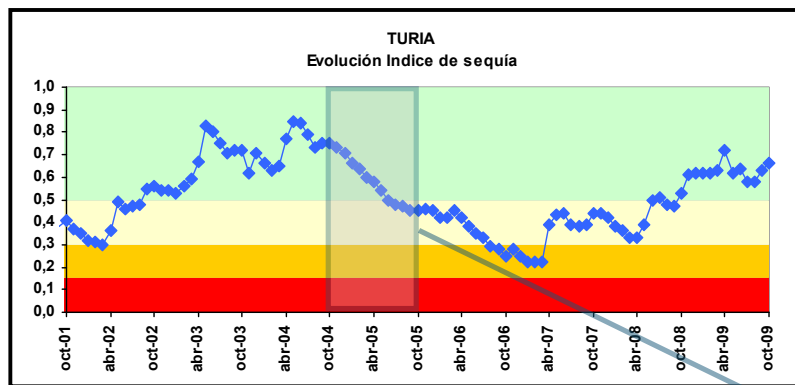


Según la probabilidad de referencia, si el origen se sitúa en octubre de 2004, indica que el sistema, en septiembre de 2005, estará por encima del escenario de alerta pero con escasas probabilidades de estar en el escenario de normalidad; conforme el origen se acerca al horizonte va disminuyendo la probabilidad de estar en el escenario de alerta para acabar prácticamente con una probabilidad del 100% de acabar en el escenario de emergencia, como realmente ocurrió según la representación del PES.

Si se observan los volúmenes en los embalses en Alarcón y Contreras, comienzan a disminuir a partir del mes de abril, siendo este el mismo mes que determina que septiembre de 2005 se situará por encima del escenario de emergencia, con el máximo en el límite con el escenario de alerta. Conforme avanzaron los meses y disminuyeron los niveles de los embalses principales, además de la escasez en las aportaciones; esto consiguió que se acabara en el escenario de emergencia.

Se puede concluir diciendo que las simulaciones alertan con anterioridad que el indicador actual de la proximidad de sequía. Lo cual podría haber repercutido en una mayor anticipación en la adopción de medidas preventivas frente a la sequía.

Se comprueba de igual forma el sistema Turia, en el mismo periodo:



La probabilidad de referencia, en el primer mes de la simulación, determinaba que el sistema se situaría en el escenario de normalidad, con escasas probabilidades de acabar en el prealerta. Conforme los meses de la simulación se aproximan al mes de horizonte la probabilidad de estado disminuye hasta entrar en el escenario de prealerta, pero aun así, con un 60% de probabilidades de situarse en escenario de normalidad.

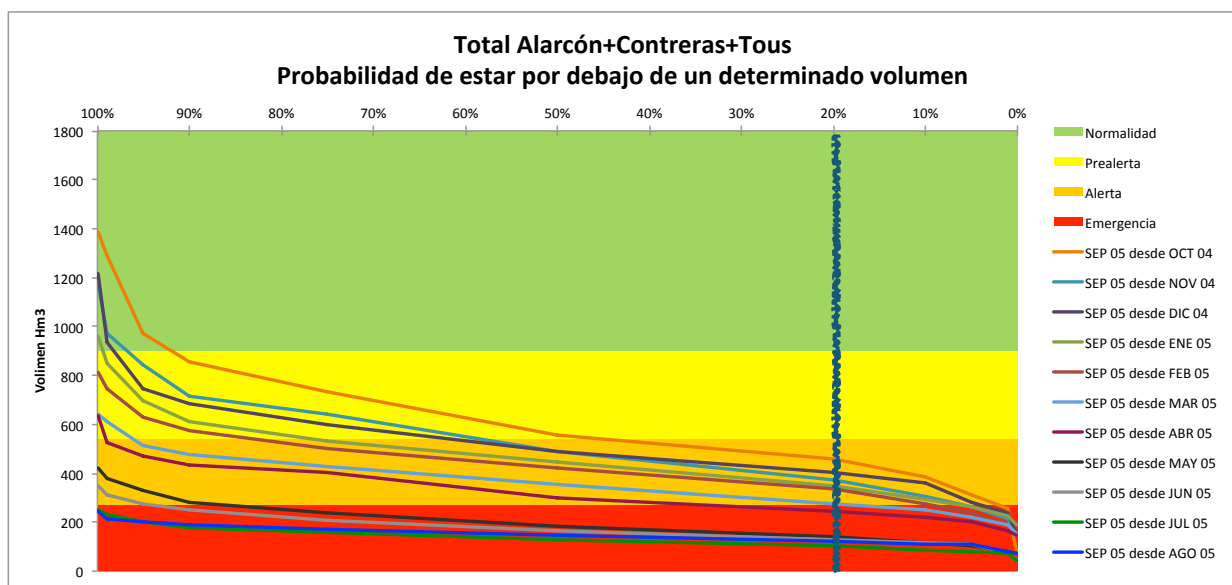
Se puede comprobar que, a diferencia de los resultados obtenidos en el Júcar, el método no manifiesta una clara mejoría respecto al indicador actual, sino más bien una anticipación similar en el pronóstico.

Una vez representados los resultados se pueden responder a la siguientes cuestiones: ¿Es o no mejor resultado que el representado por el PES? ¿Cuál sería la anticipación ideal?

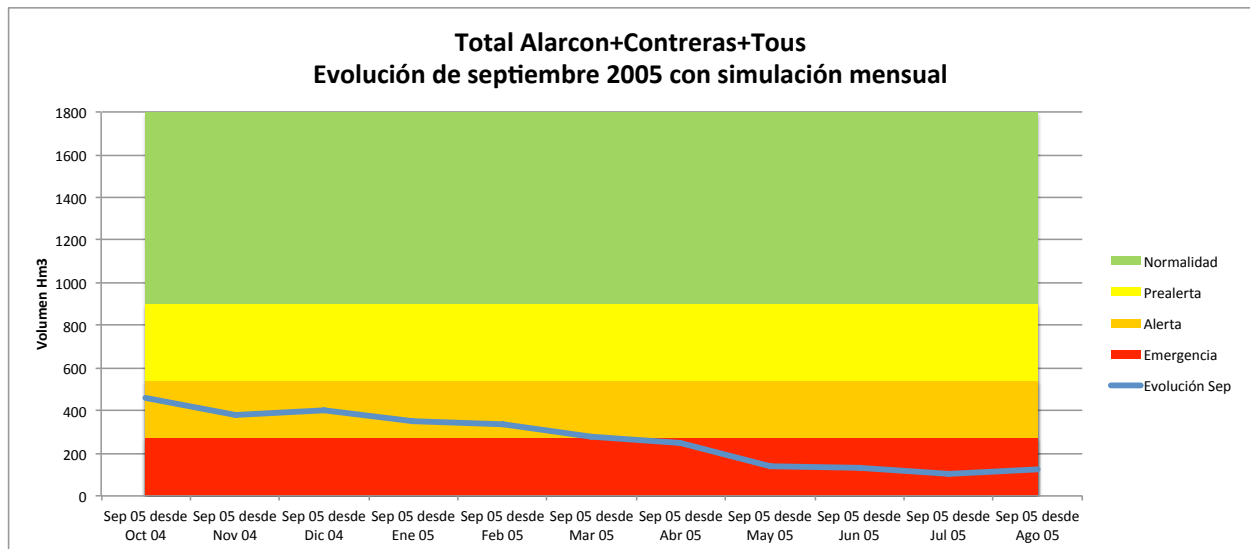
Sí, la metodología propuesta mejora los resultados, especialmente en el Júcar. Es mejor indicador que el PES porque anticipa pronósticos y hace posible que se apliquen medidas y restricciones con anterioridad con el fin de evitar situaciones críticas en el sistema. Además, incluye no sólo datos de aportaciones sino que también datos de los volúmenes iniciales en los embalses. La propuesta no busca representar los datos sino que busca la previsión mediante la anticipación al evento.

Esta metodología se puede utilizar, para futuros estudios, aplicando reglas de operación, y determinando resultados con simulaciones a corto plazo de los estados del sistema; de esta manera, se pueden hacer iteraciones para escoger las mejores reglas de operación que aseguren el suministro de las demandas y los riegos en el sistema.

Si en vez de hacer los cálculos de forma trimestral la previsión se hiciera de forma mensual, en el mismo año de estudio, se obtendría un gráfico de este tipo:



En la representación de los datos se observa que el mes de septiembre empeora gradualmente conforme se acerca al mes horizonte. Dado que el gráfico contiene demasiada información se procede, de igual forma que en los otros gráficos, a hacer un "corte transversal" en la probabilidad de referencia para ver su evolución de forma más rápida.



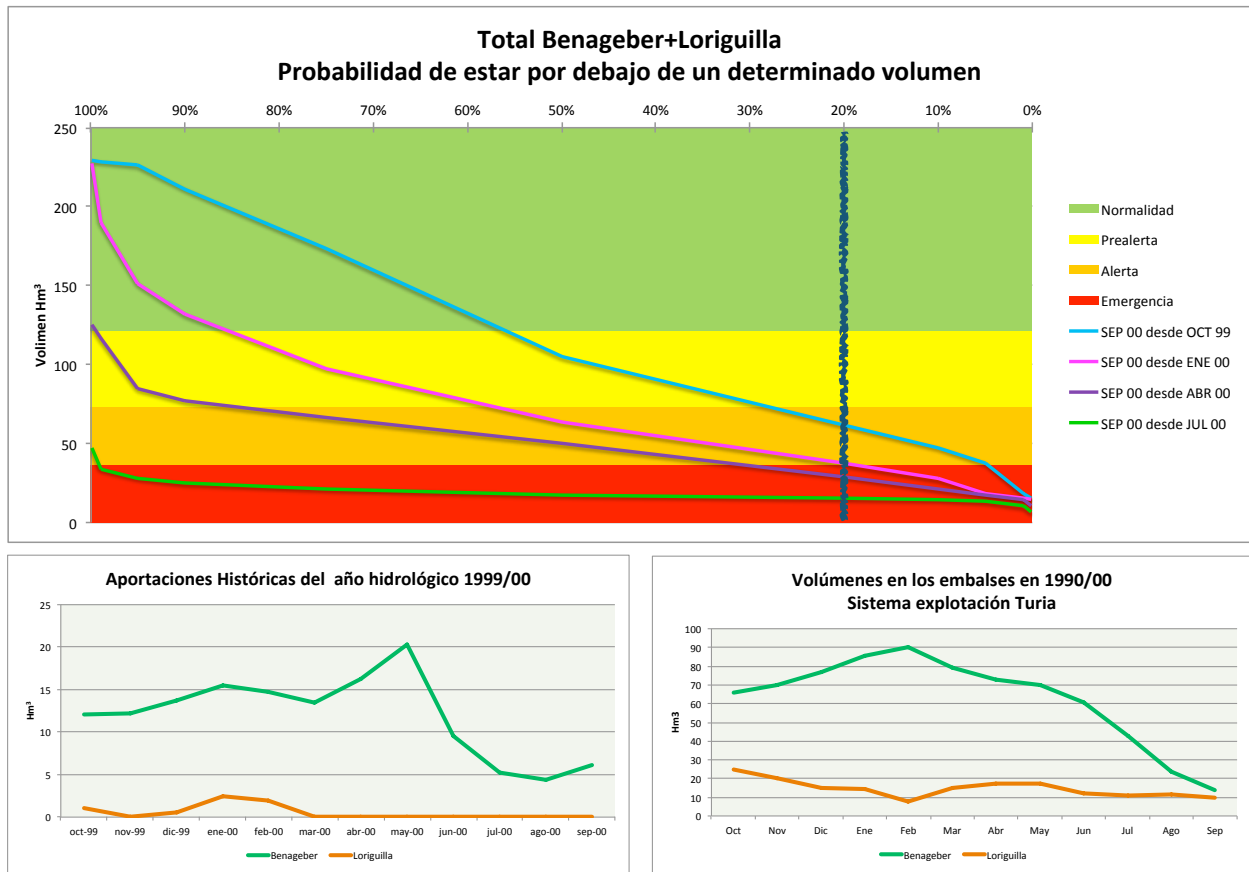
Este gráfico muestra el corte transversal realizado en la probabilidad de superación correspondiente a la probabilidad del 80% de ocurrencia. Con el corte transversal es posible visualizar los datos con mayor claridad. Se puede visualizar que los resultados pronostican la entrada en el escenario de emergencia a partir de marzo de 2005, dando un margen de seis meses de antelación.

Dado que se ha optado por realizar una de las propuestas del PES que consiste en la realización de simulaciones trimestrales, no se va a proceder a continuar con la simulación mensual; no obstante, los resultados que se obtienen con esta simulación son interesantes y se propone ser la base de futuros estudios en los que sea posible contrastar los resultados obtenidos con los que se obtengan en este trabajo y determinar si es mejor aplicar la metodología de forma mensual o trimestral.

6.4.- Ejemplos en otros años

Una vez validado el método, se procede su aplicación en otros periodos de estudio, en los diferentes sistemas. En el sistema Turia se representará el año hidrológico 1999/00, en el Júcar el año hidrológico 1996/97 y para evaluar de forma conjunta ambos sistemas se evaluará el año hidrológico 2004/05 mediante el indicador Júcar - Turia.

6.4.1.- Ejemplo: Turia 1999/00

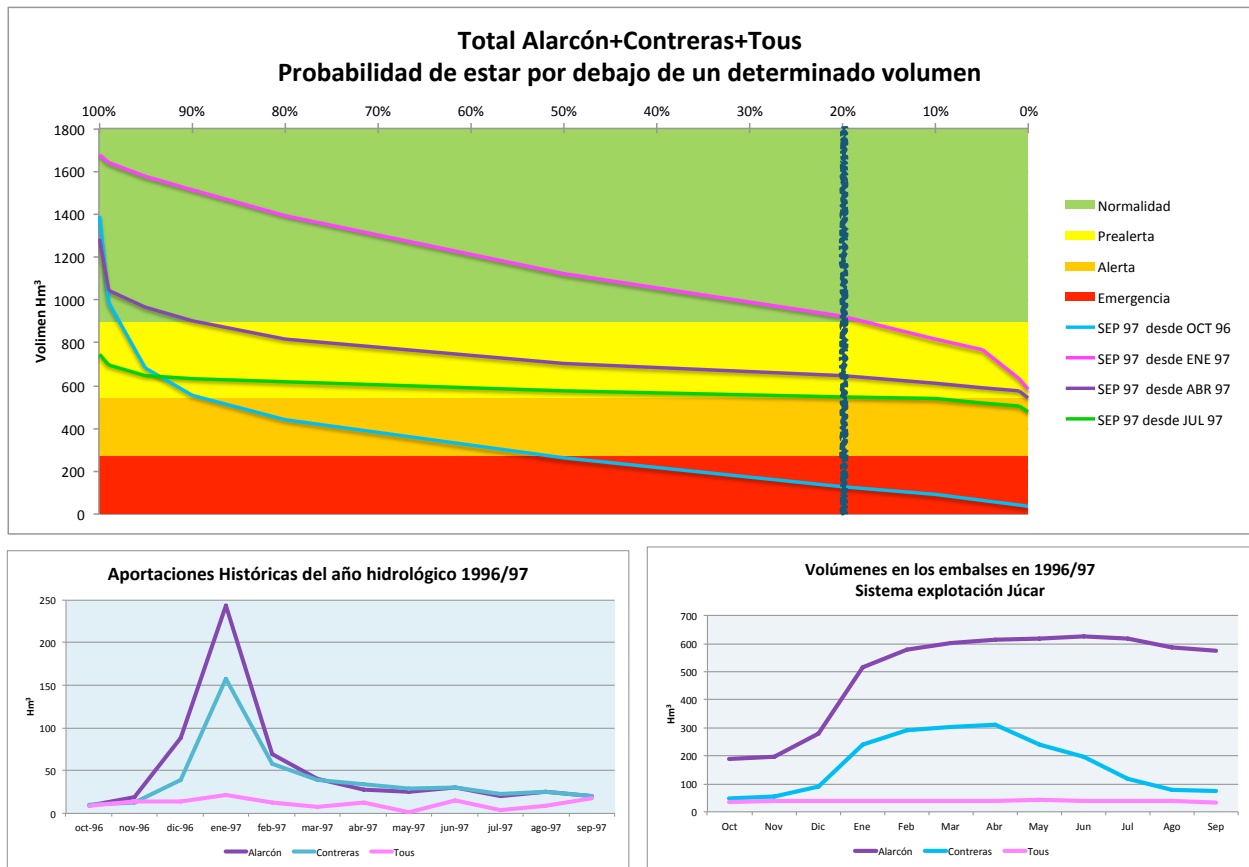


En el sistema de explotación Turia comienza la previsión con una probabilidad de referencia por encima del estado de emergencia debido a las escasas aportaciones de Loriguilla y Benageber, pese a tener el embalse al máximo de capacidad en Loriguilla.

La probabilidad de referencia va disminuyendo progresivamente, conforme se acerca el mes simulado al mes de estudio, que finaliza llegando a una probabilidad cercana al 100% de no poder pasar del estado de emergencia; esto es debido a las nulas aportaciones recibidas por parte de Loriguilla en los meses de primavera y verano que hacen caer sus reservas, junto con la variedad de precipitaciones recibidas por parte de Benageber, que también reduce su volumen.

La variabilidad del sistema Turia, en relación al Júcar, es debido a que no dispone de tanta capacidad de regulación en los embalses.

6.4.2.- Ejemplo: Júcar 1996/97



Al estimar la situación del sistema de explotación Júcar en el mes de septiembre, desde el mes de octubre del año anterior, se observan unas bajas previsiones de estado debidas a que los embalses comienzan con bajas reservas (alrededor de un 15% de su capacidad) junto con prácticamente nulas precipitaciones.

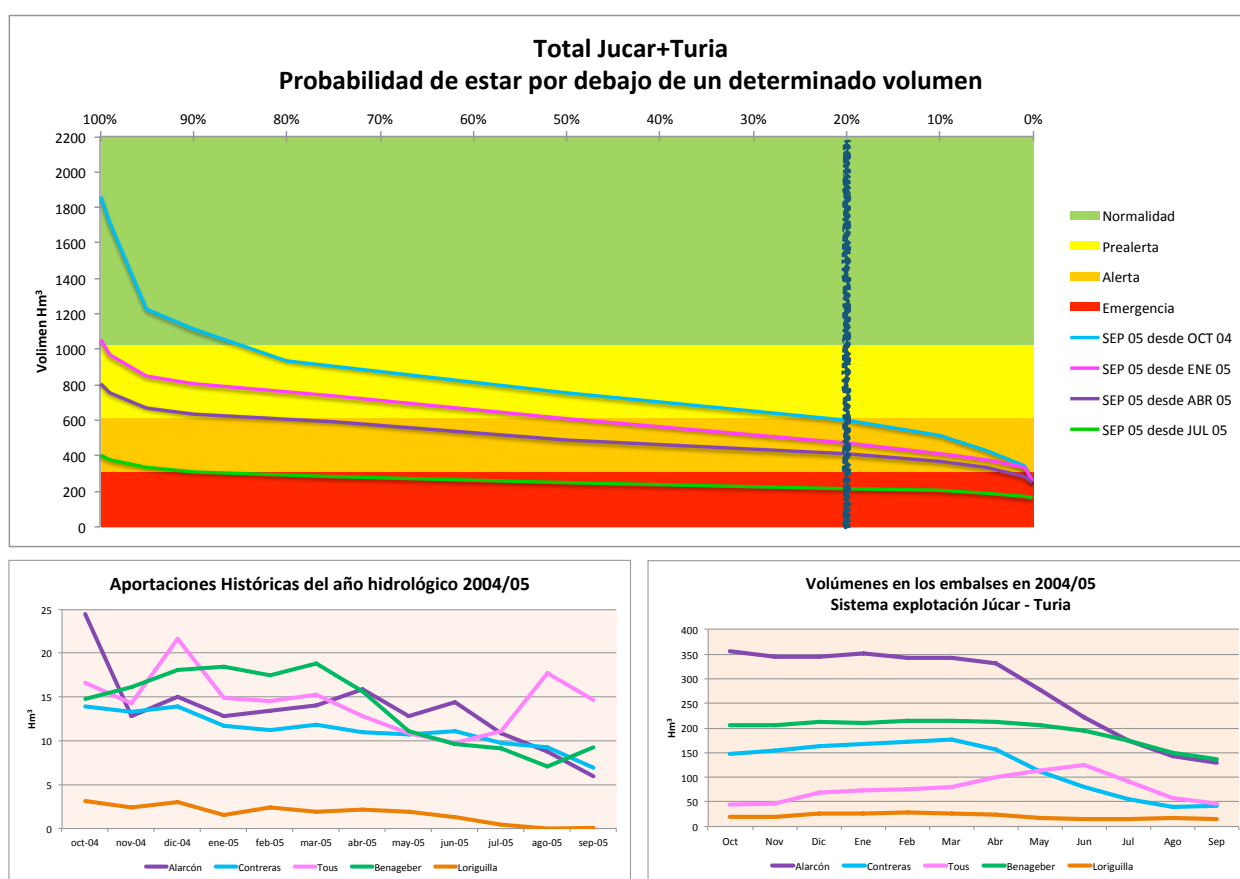
Gracias a la precipitaciones registradas en invierno, especialmente en Alarcón y Contreras, ha tenido un efecto positivo en la previsión, aumentando la probabilidad de referencia que se iniciaba en el estado de emergencia, en la simulación anterior, para acabar en el estado de normalidad, en la simulación de enero.

Después de las precipitaciones registradas en invierno, que incrementaron las reservas de los embalses de Alarcón y Contreras por encima del 50% de su capacidad, disminuyeron drásticamente implicando que las posteriores simulaciones predijeran su situación en los límites de alerta, como probabilidad de referencia.

6.4.3.- Ejemplo: Júcar - Turia 2004/05

Hoy en día el PES actual no dispone de un indicador de estado del sistema Júcar - Turia porque en teoría se consideran dos sistemas diferentes. En la práctica no es así, dado que ambos sistemas abastecen conjuntamente a la ciudad de Valencia con 120 Hm³/año de consumo y también al parque natural de la Albufera. Además, la experiencia de la última sequía avala esta propuesta al haberse gestionado estas demandas teniendo en cuenta la disponibilidad real del sistema conjunto. Se aumentó el suministro a Valencia desde el Turia cuando el el Júcar estaba en sequía. Por tanto un indicador conjunto Júcar - Turia representa mejor la situación de riesgo en el abastecimiento a Valencia.

A modo demostrativo se presenta un índice que consiste en la luna de las reservas en ambos sistemas (Alarcón, Contreras, Tous, Benageber y Loriguilla). El cual se ha simulado para el año 2004/05, año de inicio de la sequía en el Júcar.



La interacción con junta de ambos sistemas en 2004/05, comienza visualizando septiembre con una probabilidad de referencia en el estado de alerta pero, mediante la variabilidad de las aportaciones y el descenso de reservas en los meses de verano, hicieron que, conforme la simulación se aproxima al mes simulado, aumentara la probabilidad de estado en el escenario de emergencia.

El año hidrológico 2004/05 tuvo un buen comienzo de reservas en el sistema de explotación Turia, que registraba valores superiores al 90% de su capacidad; y mal comienzo para el sistema

Júcar, con reservas cercanas al 30%; debido a que las reservas del Júcar se redujeron aún más y las precipitaciones eran escasas, se tuvo que suministrar parte de las reservas del sistema Turia para poder afrontar las demandas exigidas en el sistema Júcar; esto hizo que el sistema Turia disminuyera sus reservas y contribuyera a alcanzar la situación de emergencia.

Al analizar el Júcar y Turia de forma conjunta se observa que el gráfico obtenido es similar al del mismo periodo en el sistema Júcar que se había obtenido en la validación. Por lo que ocurre en el sistema Júcar tiene más peso que lo que ocurre en el sistema Turia cuando trabajan de forma conjunta.



7.- Conclusiones y Líneas futuras

En este último apartado se va a realizar un breve resumen de la metodología propuesta, así como la importancia de los resultados obtenidos con el uso de la herramienta Aquatool en el seguimiento de la sequía en el sistema Júcar - Turia. También se propondrán una serie de estudios que se pueden aplicar en el futuro.

7.1.- Conclusiones

Cumpliendo con una de las propuestas reflejadas en el estudio del Plan Especial de Sequía, se ha propuesto un nuevo indicador para el sistema conjunto Júcar - Turia, que analiza el estado de los dos sistemas, en lugar de trabajar de forma independiente con el sistema Júcar y con el sistema Turia, ya que la experiencia ha determinado que ambos sistemas trabajan mejor de forma conjunta.

Los resultados al aplicar la metodología propuesta han determinado que mejora sensiblemente la forma en la que se determinan los estados en los sistemas Júcar y Turia, especialmente los que determina el Plan Especial de Sequías. Con los resultados obtenidos, se ha demostrado que para el sistema Júcar, la nueva propuesta metodológica consigue aumentar la anticipación al evento, alertando con anterioridad la proximidad de la sequía y aumentando el tiempo de reacción en el que es posible aplicar medidas preventivas frente a la sequía; no ocurre lo mismo en el sistema Turia, ya que los datos obtenidos igualan los pronósticos del método anterior. Además al utilizar un indicador del sistema Júcar - Turia se está obteniendo una información más realista de la situación en la que se encuentran los usos comunes, como es el abastecimiento de Valencia. Un resumen de la metodología propuesta sería:

Mediante los datos de aportaciones históricas desde el año 1980, junto con los datos de los elementos principales de ambos sistemas, representados en el modelo de Aquatool y los datos de embalses obtenidos en el anuario de aforos del CEDEX, se han generado trimestralmente un conjunto de escenarios futuros con vistas a un mismo horizonte, para después contrastar los resultados con los obtenidos por el PES.

Los escenarios generados se completan con la información del estado real de las reservas, no solo en embalses sino también en acuíferos, y también con las previsiones de suministro para los próximos meses. El resultado es un pronóstico probabilístico del final de la campaña que obviamente se hace más invariable conforme se acerca este final. Como indicador se ha utilizado como referencia una probabilidad de superación del 80%. Este dato se seleccionó por comparación con el PES vigente. Es probable que debido a esto los resultados han sido similares a los del PES vigente. Es previsible que un estudio más detallado de este parámetro permitiera mejorar la eficacia del método para el cálculo del indicador de riesgo de sequía.

Como conclusión final, se puede decir que el cálculo de escenarios futuros proporciona una información valiosa, que ayuda a la toma de decisiones, especialmente en la explotación de los recursos hídricos y que consigue anticiparse al evento de sequía en el sistema.

7.2.- Líneas futuras

El trabajo mostrado es un primer ensayo con el que se propone una metodología de trabajo para obtener unos indicadores de riesgo de sequía más eficientes que los que hay vigentes actualmente en los Organismos de Cuenca. Como primer ensayo se han obtenido unos resultados positivos que animan a continuar en ello; por esto, la metodología debe de ser analizada en mayor profundidad, y para este análisis se plantean las siguientes recomendaciones:

Como se ha comentado en las conclusiones, con la probabilidad de referencia del 80%, al ser la misma que usa el Plan Especial de Sequías, no ha sido posible obtener suficientes mejoras en los pronósticos anteriores; por lo que se propone hacer un análisis del sistema para determinar la probabilidad de superación tal que mejore en un alto grado dichos resultados.

En este trabajo, el proceso ha finalizado en el quinto paso del esquema de Simrisk en la metodología de gestión con consideración del riesgo. Otra vía de análisis en la propuesta, sería incorporar al procedimiento un proceso de datos basado en la metodología de gestión planteada en aquel esquema (ilustración 36).

En la propuesta metodológica se ha calculado como ejemplo cómo sería la generación de escenarios futuros de forma mensual, pero no se ha desarrollado ya que no era el objeto del trabajo. Sería interesante el análisis de los resultados obtenidos mediante esa generación y determinar si el método mejoraría si se contrasta con la generación trimestral.

La metodología debe ser validada para situaciones de normalidad, en las que no existan riesgos de sequía, así como también en otras situaciones intermedias. En definitiva, sería interesante generar un seguimiento del indicador obtenido en éste método para todo el periodo histórico de datos, de forma similar a como se muestra en las figuras del PES (ilustración 35).

Finalmente se plantea la validación de esta propuesta en otro sistema de explotación, tanto de la Cuenca Hidrográfica del Júcar como de otra cuenca cualquiera, que determine si con los datos tenidos en cuenta en el proceso se puede utilizar en cualquier término.



8.- Referencias

T. Estrela y A. Rodriguez, 2008;

Gestión de la sequía en los años 2004 - 2007. Ministerio de Medio ambiente.

S. T. Sánchez, 1999;

Gestión de Sistemas de Recursos Hídricos con Toma de Decisión Basada en Riesgo.

S. T. Sánchez, J. Andreu, A. Solera, 2001;

Gestión de Recursos Hídricos con decisiones basadas en estimación del riesgo. Editorial UPV.
Ref: 2001.4121.

J. Andreu, A. Solera, J. Capilla, J. Ferrer, 2007;

Modelo Simges para simulación de cuencas. Manual de usuario V 3.00. Editorial UPV.
Ref: 2007.2313.

A. del Campo, 2008;

Gestión y planificación de la sequía. Impactos económicos, sociales y ambientales de la sequía.

G. Gómez Martínez, 2008;

Estudio, evaluación y seguimiento de medidas para la mitigación de los efectos de la sequía 2005/07 mediante el cálculo de previsiones en los Sistemas de Recursos Hídricos de las Cuencas Hidrográficas del Júcar y Túrria.

R. Herrero, 2002;

Gestión del sistema de la cuenca del Júcar basada en riego de sequías con revisión de aportaciones aguas arriba del embalse de Tous.

J. Camilio, 2002;

Modelo estocástico de redes neuronales para la síntesis de caudales aplicados en la gestión probabilística de sequías.

M.A. Pérez, 2006;

Actualización del Sistema Soporte a la Decisión (SSD) AQUATOOL para la gestión de sequías en el Área de Explotación de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA).

L. Garrote, 2007;

El tratamiento de sequías en la cuenca del Tajo: Empleo del modelo SIMRISK en la determinación de los umbrales de activación de medidas.

G. Gómez, 2008;

Estudio, evaluación y seguimiento de medidas para la mitigación de los efectos de la sequía 2005/07 mediante el cálculo de previsiones en los Sistemas de Recursos Hídricos de las Cuencas Hidrográficas del Júcar y Túrria.

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2013;
Proyecto del Plan Hidrológico. Demarcación Hidrográfica del Júcar (borrador).

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2007;
Plan Especial de Alerta y Eventual Sequía en la Confederación Hidrográfica del Júcar

Confederación Hidrográfica del Júcar, 2010;
apartado 10 PES: *Informe Post - Sequía*.

Ingenieros SL, 2002;
Estudio de Utilización Conjunta de los Recursos Hídricos Superficiales y Subterráneos en las cuencas media y baja de los ríos Júcar y Turia.

Confederación Hidrográfica del Júcar, 1997;
Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar. Anejo 4: *Sistemas de explotación*.

Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, 2007;
La sequía en España - Directrices para minimizar su impacto.

UNCSD, 2012;
Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas.
WWDR4 Volume 1-Managing Water under Uncertainty and Risk.pdf

Hispagua, Sistema Español de información sobre el agua, 1999;
La Confederación Hidrográfica del Júcar.
<http://hispagua.cedex.es>. [consulta: 7 de mayo de 2014]

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente;
Definiciones de tipos de sequía.
<http://www.magrama.gob.es/es/> [consulta: 7 de mayo de 2014]

D. Espín, 2010;
La escasez de agua en el mundo: problemas presentes y futuros.
<http://lasequiaenelmundo.blogspot.com.es> [consulta: 12 de mayo de 2014]

El ojo sostenible, 2013;
Día mundial contra la desertificación: sequía y escasez de agua (2013).
<http://elajosostenible.wordpress.com> [consulta: 15 de mayo de 2014]

Naciones unidas;
Decenio del agua.
<http://www.un.org/es/> [consulta: 15 de mayo de 2014]

Consejo superior de Investigaciones Científicas, 2013;
España sufre sequías cada vez más intensas y prolongadas
<http://www.csic.es/> [consulta: 15 de mayo de 2014]

Universidad de Navarra;
El agua en España.
<http://www.tecnun.es> [consulta: 15 de mayo de 2014]

Greenpeace;
Disponibilidad del recurso.
<http://www.greenpeace.org> [consulta: 19 de mayo de 2014]

Intermón Oxfam, 2003;
África: más allá de la sequía.
http://centroderecursos.alboan.org/ebooks/0000/0507/GLO_05_ES_EU.pdf

Geoscopio;
Guía para la mitigación de los efectos de sequía.
<http://www.geoscopio.org> [consulta: 19 de mayo de 2014]

R. Herrero, 2014;
Gestión del río Júcar basada en riesgo de sequías.
<http://eselagua.com> [consulta: 12 de junio de 2014]

