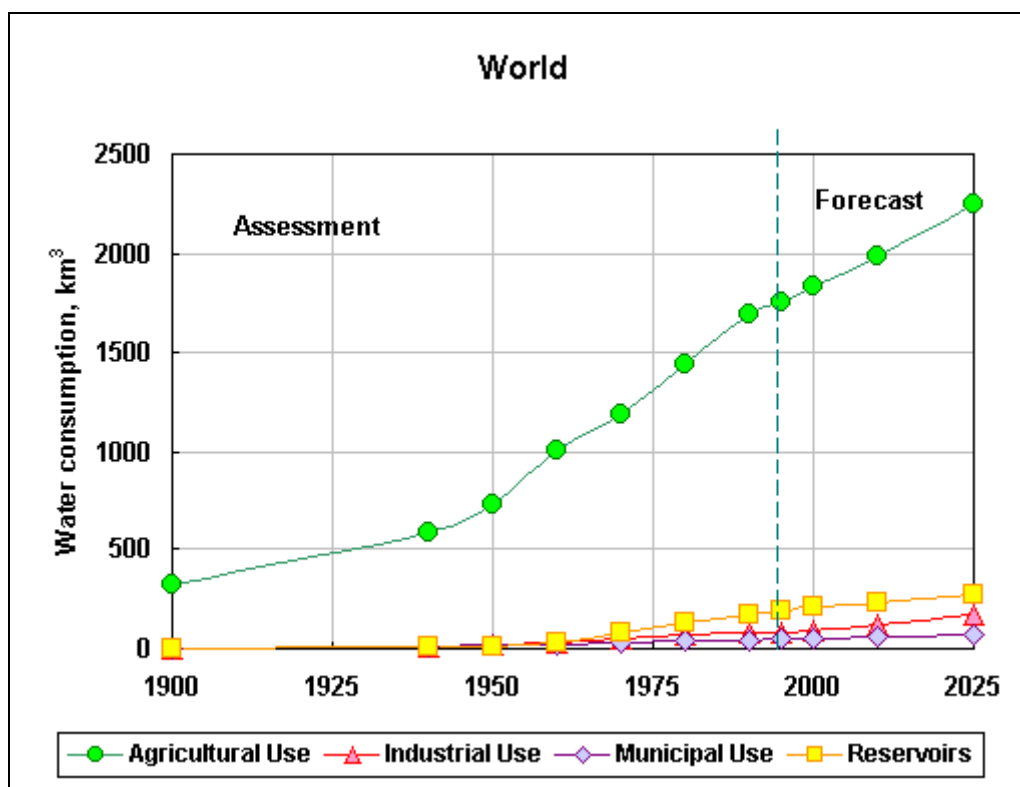


## 1-INTRODUCCIÓN

### 1.1-EL USO DEL AGUA EN LA AGRICULTURA

El uso de sistemas de irrigación en la agricultura ha permitido, desde su implantación, un aumento extraordinario de las producciones agrícolas. Por ejemplo, en España, la agricultura de regadío ocupa un 15 % de la superficie agrícola útil, produciendo un 55 % del producto final agrícola. Este aumento de la producción se debe a que la agricultura de regadío, permite reducir las variaciones en la disponibilidad de agua causadas por la variabilidad meteorológica.

La demanda de agua para riego se caracteriza por su gran volumen y su concentración en los meses más secos del año, lo que obliga a regular y movilizar grandes cantidades de agua anualmente. Se trata, con gran diferencia, del uso con mayor demanda de agua en todo el mundo, representa aproximadamente el 80% del consumo mundial de agua, y como se puede observar en la *Figura 1*, el consumo tiene una tendencia claramente creciente.



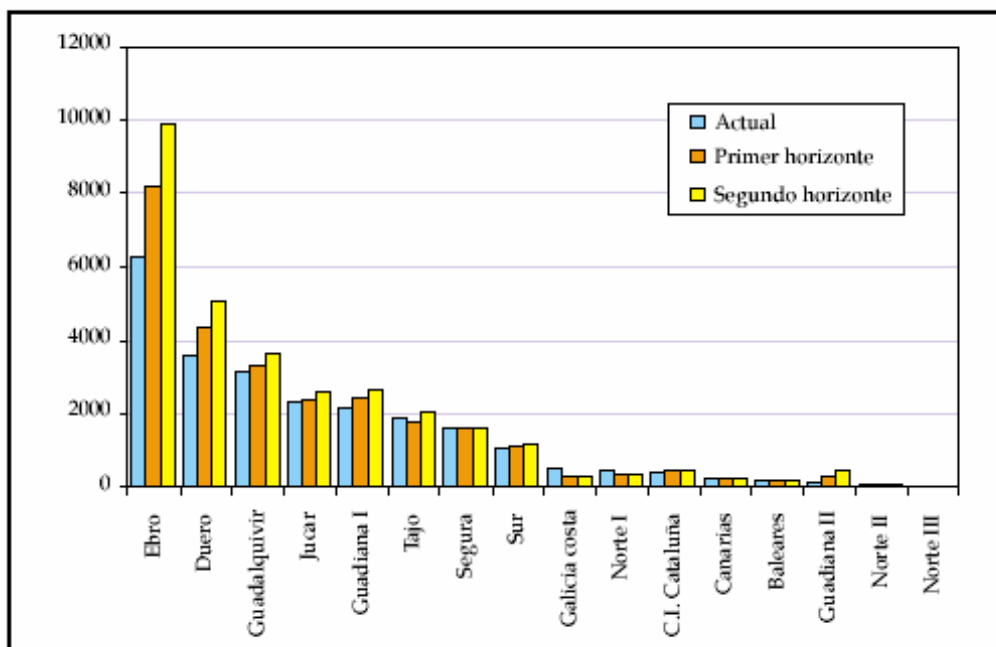
*Figura 1- Evolución del consumo de agua mundial según usos.  
Fuente: State Hydrological Institute (St.-Petersburg, Russia).*

En el caso de España, las demandas hídricas para riego siguen con la tendencia generalizada que se da en todo el mundo. En las superficies de regadío existentes se genera una gran demanda, que en determinadas ocasiones conducen a situaciones problemáticas, en las que no se dispone de la cantidad necesaria y suficiente. La *Tabla 1* muestra las demandas agrupadas por cuencas, indicando el valor total de la demanda, el % que representa del total y la dotación media anual.

Según los Planes Hidrológicos realizados por cada uno de los organismos de cuenca en España, la demanda hídrica futura también va a sufrir un aumento considerable, equiparable al previsto en los estudios realizados a escala mundial y mostrados por la UNESCO. La *Figura 2* muestra las previsiones realizadas sobre dos horizontes futuros de 10 y 20 años respecto el estado actual.

Ámbito	Demandas de regadío (hm <sup>3</sup> /año)	Demandas de regadío (%)	Dotación media (m <sup>3</sup> /ha/año)
Norte (I, II y III)	532	2	7.589
Duero	3.603	15	6.547
Tajo	1.875	8	8.127
Guadiana (I y II)	2.285	9	6.701
Guadalquivir	3.140	13	6.499
Sur	1.070	4	6.704
Segura	1.639	7	6.162
Júcar	2.284	9	6.173
Ebro	6.310	26	8.049
C. I. Cataluña	371	2	5.752
Galicia Costa	532	2	8.337
Península	23.641	98	6.988
Baleares	189	1	7.862
Canarias	264	1	8.800
España	24.094	100	7.010

*Tabla 1 – Demandas de regadío.  
Fuente: Libro Blanco del Agua*



*Figura 2 – Previsiones en las demandas hídricas en el regadío.  
Fuente: Libro Blanco del Agua*

## **1.2-CIRCUNSTANCIAS Y PROBLEMAS EXISTENTES**

En el apartado anterior ya se ha comentado la gran eficiencia productiva de las explotaciones agrarias de regadío, y que en contrapartida, presentan un gran consumo de agua. El principal problema de los sistemas de irrigación no radica únicamente en la gran demanda hídrica, sino que también recae en la baja eficiencia en el proceso de conducción y distribución del agua.

El deterioro de la gran mayoría de las infraestructuras que forman parte de las redes de distribución es una de las principales causas de la baja eficiencia de los sistemas de distribución. Es por ello que es necesaria una rehabilitación y modernización de las redes, mediante revestimientos, mejora de los elementos de medida,..., con lo que se conseguirá minimizar las pérdidas por filtraciones, mejorar las secciones hidráulicas y mejorar la calidad de los datos hidráulicos (calados y caudales) utilizados para operar el sistema.

No obstante, el único problema no es el estado de los canales que forman parte de la red de distribución, sino que también tenemos los métodos de gestión utilizados. Mayoritariamente, las redes de distribución de regadío están formadas por canales, en gran parte sobredimensionados, cuya gestión tradicional provoca que se generen grandes pérdidas de agua, debido a excedentes en el agua demandada que raras veces son reutilizados, provocando importantes pérdidas en las colas del canal.

Otro problema consiste en que los regantes ubicados en las zonas de cabecera tienen tendencia a aprovechar su privilegiada situación, frente a los situados aguas abajo, de modo que toman más agua de la que les corresponde, incumpliendo los turnos de entrega programados o mediante extracciones ilegales.

## **1.3-TIPOS DE GESTIÓN**

La gestión tradicional consiste en la regulación manual de las compuertas, que según muestran diversos estudios conlleva a desaprovechar la capacidad real de la red. Además, mediante la operación manual de compuertas se tiende a sobredimensionar la oferta, para evitar que aspectos imprevistos no permitan hacer frente a la demanda, por lo que en general, este sobredimensionamiento se traduce en un desaprovechamiento inútil de los recursos.

Una alternativa a la gestión tradicional es la implantación de sistemas de instrumentación (medida en tiempo real de calados, velocidades,..., etc., en determinados puntos del canal) y de compuertas automáticas. Esta opción permite conocer en tiempo real el estado del canal, mediante sensores, y mantener un nivel constante en las proximidades de cada una de las compuertas (aguas abajo y/o aguas arriba de la compuerta, según el tipo de compuerta). Sin embargo, este tipo de compuertas realizan un control local, sin tener en cuenta que se encuentran enmarcadas en un sistema global, donde todos los elementos interactúan.

Otra alternativa, sobre la que se han centrado las investigaciones durante los últimos años, son los sistemas de control automático. El objetivo de esta vía de

investigación es realizar un control automático del canal, pero mediante una estrategia global, teniendo en cuenta la situación de cada uno de los tramos y elementos que forman parte del canal. Para ello combina elementos de la ingeniería hidráulica y de la teoría de control automático. Con este tipo de operación se consigue realizar una gestión más eficiente, aprovechando al máximo la capacidad real de la red, y se puede garantizar el suministro a todos los regantes eliminando las diferencias existentes entre regantes de cabecera y el resto, neutralizando los déficits provocados aguas abajo por las extracciones ilegales.

Los sistemas de control automático son una alternativa a la gestión tradicional que a pesar de requerir una gran inversión, conllevan una gran mejora en la gestión de las redes de regadío, lo que implica una gran mejora en la producción y un ahorro de recursos hídricos.

### **1.4-OBJETIVOS Y ESTRUCTURA DE LA PRESENTE TESIS**

El objeto de esta tesis es desarrollar dos sistemas de control, basados en dos modelos, uno hidrológico y otro hidráulico, y realizar un estudio comparativo mediante la aplicación de ambos modelos a una serie de casos de estudio, para determinar cuál de los dos sistemas presenta una mayor eficiencia en la gestión del canal principal de una red de regadío.

Esta tesis se estructura en 6 capítulos:

- 1- Introducción.
- 2- Sistemas de Control. En este capítulo se realiza una visión global de los distintos tipos de sistemas de control utilizados en la actualidad.
- 3- Modelo Matemático. Este capítulo conforma el grueso de la presente tesis; en él se describe el desarrollo de los algoritmos de control utilizados en los dos sistemas de control.
- 4- Modelo Hidráulico e implementación en el entorno Matlab-Simulink. En este capítulo se describe la metodología empleada para representar numéricamente los dos canales utilizados en el estudio, y el proceso de implementación del sistema de control en el entorno de trabajo Matlab-Simulink.
- 5- Experimentos realizados. Este capítulo engloba la definición de los experimentos realizados y los resultados obtenidos.
- 6- Conclusiones. Finalmente, este capítulo recoge las conclusiones alcanzadas tras la realización de los diversos experimentos.

Además de estos 6 capítulos, la presente tesis también consta de una serie de anejos en los que se reproducen de un modo más detallado los desarrollos numéricos realizados en el capítulo 3.