



UNIVERSIDAD DE CANTABRIA  
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



TRABAJO FIN DE GRADO

Director: Carolina Garmendia Pedraja

Curso: 2016-2017

**EL AGUA QUE NOS ESPERA:  
DISPONIBILIDAD HÍDRICA Y  
ADAPTACIÓN AL CAMBIO  
CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO  
PAS (CANTABRIA)**

THE EXPECTED WATER: WATER AVAILABILITY AND  
ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE BASIN OF RIVER PAS  
(CANTABRIA)

Carolina Yedra Arnaiz

20 de junio de 2017

## ÍNDICE

Resumen .....	3
Summary.....	3
1. Introducción .....	4
2. Metodología y fuentes .....	7
3. Los recursos hídricos en la cuenca del Pas .....	9
3.1. La cuenca: los condicionantes naturales .....	9
3.2. La demanda urbana: presión sobre los recursos hídricos .....	14
3.3. Infraestructuras para el abastecimiento.....	16
3.3.1. El bitrasvase Ebro-Pas-Besaya: una fuente sin retorno.....	17
3.3.2. La autovía del agua: abasteciendo a la costa.....	20
3.3.3. Infraestructuras y consumo .....	20
4. Cambio climático y recursos hídricos.....	24
4.1. El cambio climático en el Cantábrico: escenarios según los modelos.....	24
4.2. Las variaciones del nivel del mar .....	29
4.2.1. Factores de las variaciones .....	29
4.2.2. El ascenso del nivel del mar en el Cantábrico.....	31
4.3. La futura disponibilidad hídrica en la cuenca del Pas .....	34
5. Recursos y demanda: ¿el reto de un futuro muy próximo? .....	38
Bibliografía y fuentes .....	44
Índice de figuras y tablas .....	50

## **RESUMEN**

La futura disponibilidad hídrica es un reto al que los núcleos urbanos han de hacer frente. Los escenarios de cambio climático plantean una importante reducción de los recursos hídricos debido al aumento de las temperaturas y descenso de las precipitaciones. No obstante, la situación se agrava aún más, si tenemos en cuenta que se espera un incremento de la demanda urbana, al producirse una mayor concentración de la población en estas áreas. Teniendo en cuenta este contexto, se analiza cómo estos factores van a afectar (o están afectando ya) a la cuenca del río Pas, la principal zona de suministro de agua a la ciudad de Santander, y a su desembocadura, también vulnerable debido al ascenso del nivel del mar. Finalmente, se valora si las políticas de gestión de los recursos hídricos están teniendo en cuenta esta realidad y cómo se plantean las decisiones de inversión en infraestructuras.

Palabras clave: Disponibilidad hídrica / cambio climático / consumo urbano / Cantabria.

## **SUMMARY**

The future water availability is a challenge that cities have to face. Climate change scenes pose an important water reduction due to temperature rise and rainfall decline. Although, the situation is getting worse, taking into account that urban demand of water is expected to rise, since cities are assembling a greater population. Given this situation, this report analyzes how these factors are going to affect (or have already affected) the basin of river Pas, the main area of water supply to the city of Santander, and its mouth, also vulnerable due to sea rise. Finally, this report is going to assess, if water management policies are taking into consideration these realities and how infrastructure investment decisions are made.

Keywords: Water Availability / Climate Change / Water Consumption / Cantabria

## **1. INTRODUCCIÓN**

*“Los registros de observaciones y las proyecciones climáticas aportan abundante evidencia de que los recursos de agua dulce son vulnerables y pueden resultar gravemente afectados por el cambio climático, con muy diversas consecuencias para las sociedades humanas y los ecosistemas” (Bates et al., 2008).*

Esta afirmación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático señala cómo el problema del abastecimiento de agua es una de las manifestaciones anticipadas del cambio climático, ya sea en términos de cantidad o de calidad del agua. Los modelos climáticos, cada vez más afinados y con información muy detallada, plantean un escenario de inseguridad en el suministro, por la alteración de los patrones de precipitación y elevación de las temperaturas. La reducción de los aportes implica una disminución del caudal en los ríos, embalses y lagos, afectando también a la capacidad de recarga de los acuíferos (SWITCH, 2011; UNEP, 2012).

La situación se complica, aún más, si se tiene en cuenta la variación del nivel del mar en las zonas litorales, pues el incremento de las temperaturas acrecienta la demanda y ello origina un aumento de la extracción de agua, cuyas consecuencias aguas abajo, en particular en la zona de la desembocadura, se agravan: el descenso del caudal por las captaciones hace que el volumen de agua dulce sea menor, lo que, sumado al ascenso del nivel del mar, produce que los estuarios se vean afectados por una mayor intrusión de agua salada pudiendo, incluso, afectar a los acuíferos (SWITCH, 2011).

Estas condiciones se tornan particularmente difíciles en las ciudades, pues es en ellas donde se da una mayor concentración de la población, de infraestructuras y, en definitiva, de actividades económicas. El creciente número de estudios e informes, valoraciones de vulnerabilidad, proyectos de intervención... dan idea de la creciente preocupación que suscita el tema. Sin embargo, son pocos los gobiernos locales que se preparan para ello (SWITCH, 2011), a pesar de que resolver el suministro urbano, objeto de estudio de esta memoria, se convierte, a corto-medio plazo, en un difícil reto que exige un proceso de adaptación (UNEP, 2012).

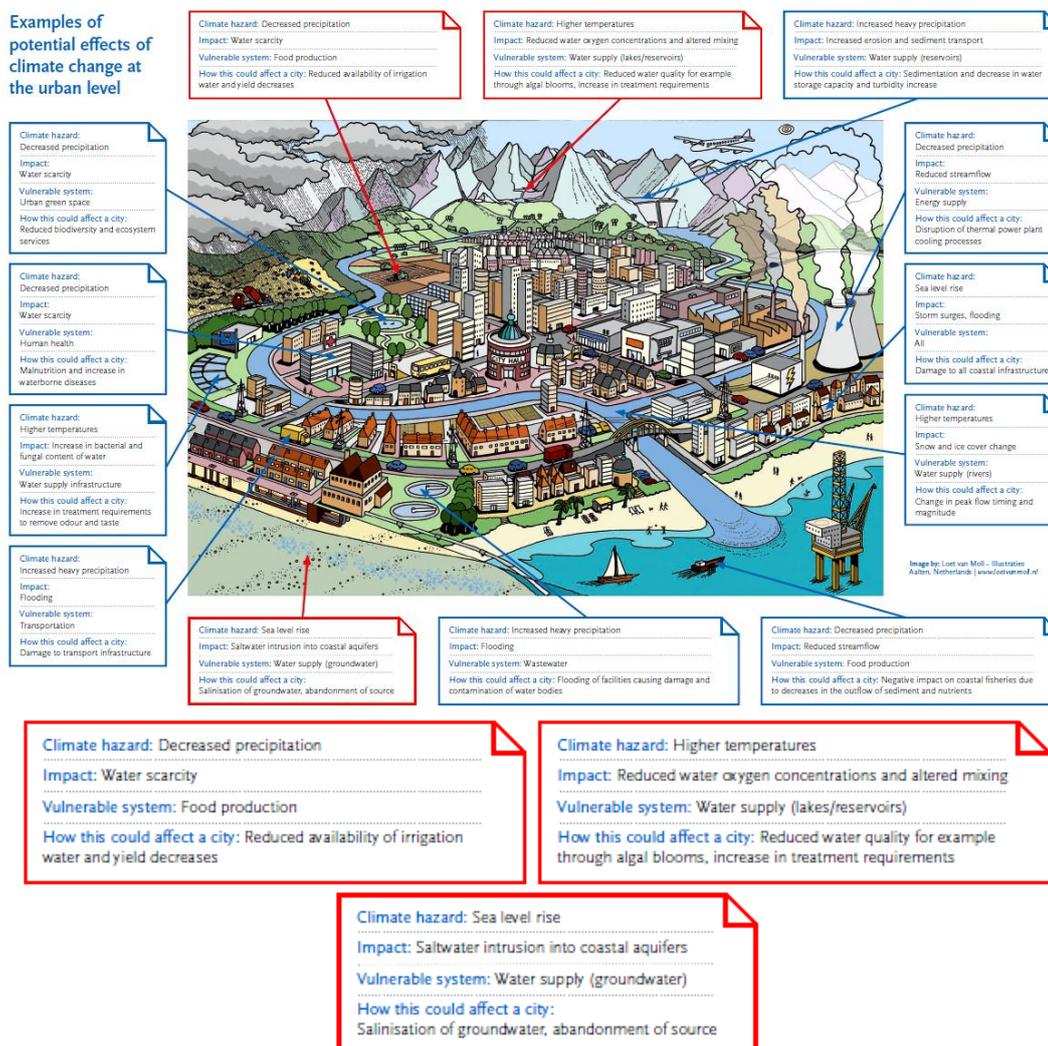
Y es en este el contexto en el que se plantea el presente trabajo. La ciudad de Santander tiene en la cuenca del río Pas su principal zona de suministro de agua. Las elevadas demandas de la población han dado lugar a fuertes inversiones económicas para asegurar su abastecimiento, pero ¿por cuánto tiempo?, ¿son suficientes las medidas que se han tomado?, ¿se ha tenido en cuenta la situación que plantean los estudios de cambio climático en nuestra región?

De los principales efectos que tendrá el cambio climático sobre los recursos hídricos (aumento de la temperatura, modificación en el régimen de precipitaciones y la cubierta de nieve, acentuación de la frecuencia de las inundaciones y las sequías y elevación del nivel del mar) (AEMA, 2009: 9), nos centraremos en aquellos que afectan al ámbito cantábrico, según las conclusiones publicadas en investigaciones recientes (Rivas, 2000; Gutiérrez *et al.*, 2010; Moreno, 2005; Rasilla, 2013; Losada, Izaguirre y Díaz Simal, 2014 y 2015), y que ponen de manifiesto que se está dando una disminución de las precipitaciones, una elevación de las temperaturas y un ascenso del nivel del mar (Figura 1).

Este escenario plantea una posible situación de estrés hídrico, dada la elevada demanda de agua que caracteriza a nuestra región (la tercera del conjunto nacional según los datos del INE, 2016). Ello nos hace pensar, y esta es nuestra hipótesis de partida, que los proyectos desarrollados hasta la fecha no van a asegurar el suministro y que los impactos derivados de una sobreexplotación de los recursos hídricos no sólo van a ser importantes desde una perspectiva medioambiental, sino que también generarán graves conflictos por su aprovechamiento, incluso en nuestro caso, más allá de los límites del área objeto de estudio. Esta hipótesis lleva a plantear el trabajo con los siguientes objetivos generales:

- Analizar la situación actual del área de estudio en cuanto a la disponibilidad y demanda de los recursos hídricos.
- Revisar las consecuencias del cambio climático según los escenarios proyectados para el área cantábrica.
- Estimar los posibles efectos que la demanda y las variaciones de la disponibilidad hídrica pueden tener en el área de estudio.

Figura 1: Efectos potenciales del cambio climático en las ciudades



Fuente: SWITCH, 2011.

En definitiva, se trata de ver en qué medida el gobierno regional ha incorporado, tal y como se proclama en los diversos foros internacionales sobre este tema, una política de gestión que integre los aspectos ambientales, los diferentes intereses, etc. (UNEP, 2012), para mejorar la eficiencia en las decisiones de inversión.

## **2. METODOLOGÍA Y FUENTES**

La metodología planteada y las fuentes utilizadas para este trabajo podemos estructurarlas en varias fases de trabajo, acordes con los objetivos planteados. En primer lugar, y para analizar la situación actual del área de estudio, tanto desde la perspectiva de la disponibilidad hídrica como de las demandas, se ha recurrido, por un lado a la diversa información publicada por la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria, en el marco de la aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA) (Europa, 2000). Nos ha parecido importante utilizar estos informes cuanto son los que sirven de base para justificar el desarrollo posterior de políticas e intervenciones en infraestructuras. Cabe destacar, entre ellos, el elaborado por el gobierno regional en el año 2005, el denominado *Plan de Investigación Integral para la Caracterización y Diagnóstico Ambiental de los Sistemas Acuáticos de Cantabria* (CMA, 2005; 2012), que establece ya el marco “... para la protección de las aguas superficiales continentales, de transición, costeras y subterráneas”, tal y como dictamina la DMA.

Estos estudios se han ido completando desde otros organismos implicados también en la caracterización y gestión de los recursos hídricos, como la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (CHC) (2017) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Los trabajos realizados por este organismo en materia de recursos subterráneos son fundamentales para explicar buena parte de la disponibilidad hídrica en el área de estudio. En la *Encomienda de Gestión para la Realización de Trabajos Científico-Técnicos de Apoyo a la Sostenibilidad y Protección de las Aguas Subterráneas* (IGME, 2010), y con el objetivo de integrar estas áreas a la planificación hidrológica, se realiza una interesante caracterización de la interconexión entre las aguas subterráneas y los cursos fluviales, así como de los manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas de especial interés hídrico.

El análisis de la presión a la que se ven sometidos los recursos hídricos por parte de la población parte de una primera aproximación realizada a través de la densidad de población que presenta el área de trabajo, para lo que se han consultado los datos publicados por el Instituto Cántabro de Estadística (ICANE) (2017). Este organismo, dependiente del Gobierno de Cantabria, ofrece este tipo información y su distribución a escala municipal pero tiene referencias sobre la demanda de agua, un aspecto fundamental

para nosotros. Para ello se ha recurrido al del Instituto Nacional de Estadística (INE) (1998-2016), que dispone de una serie sobre el consumo y precio del agua, lo que ha permitido observar y comparar su evolución con la del desarrollo de proyectos de infraestructuras destinadas al abastecimiento urbano.

El reconocimiento las consecuencias del cambio climático en nuestra región se ha planteado en primer lugar, y fundamentalmente, a partir de una revisión bibliográfica sobre el tema (Rivas, 2000; Moreno, 2005; Iglesias, Estrela y Gallart, 2005; MMA, 2006a; AEMA, 2009; Uriarte, 2010; Gutiérrez *et al.*, 2010; Yanguas, 2012; Rasilla, 2013; Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2014, 2015). Es evidente que no se trata de un examen exhaustivo del estado de las investigaciones, pues ello excede de los objetivos de este trabajo, pero sí de algunas de las más recientes aportaciones que nos permiten constatar este hecho y realizar una aproximación a las consecuencias que tendrá sobre la futura disponibilidad hídrica en la cuenca del Pas, haciendo hincapié en los problemas que presentaran los acuíferos costeros, basando en la situación que se está dando en las zonas costeras en Europa (AEMA, 2008).

Por otro lado, y esto nos parece interesante resaltarlo, se ha realizado una simulación de las precipitaciones y las temperaturas a finales de siglo, aplicando un modelo propuesto en el ATEAM Project, cuyos resultados se han comparado con los obtenidos por Losada, Izaguirre y Diaz Simal (2015), para Asturias, corroborando así su validez. En este punto es imprescindible agradecer la inestimable ayuda recibida por Domingo Rasilla Álvarez, Profesor Titular del área de Geografía Física de la Universidad de Cantabria, quien me ha orientado en la elección del modelo y su interpretación.

Teniendo en cuenta la situación que plantean las proyecciones de cambio climático y la demanda actual, se hace, por último, una valoración de la política regional en la materia a través del *Plan General de Abastecimiento y Saneamiento de Cantabria* (PGAS) (2015). En él se plantean como objetivos fundamentales, desde la perspectiva del abastecimiento, satisfacer las necesidades y calidad del abastecimiento así como garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos y de las inversiones en materia de suministro.

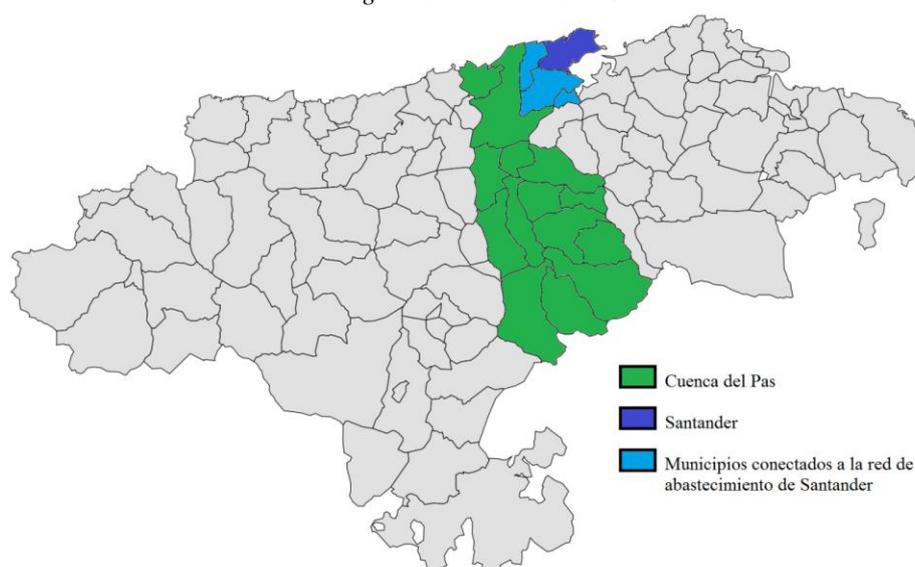
### 3. LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL PAS

*“Los recursos hídricos, propiamente dichos, entendidos como los volúmenes de agua capaces de dejar satisfechas las necesidades hídricas en cantidad y calidad, en tiempo y en espacio están a su vez condicionados por la explotación, la estructura temporal de la demanda, el sistema de recursos hidráulicos (superficial y subterráneo) disponible y las reglas operativas definidas para el sistema o reglas de gestión del sistema” (Iglesias, Estrela y Gallart, 2005: 308).*

#### 3.1. LA CUENCA: LOS CONDICIONANTES NATURALES

El río Pas se inscribe en una cuenca pequeña, de apenas 661 km<sup>2</sup>, en la que desde su nacimiento en Peñas Negras hasta su desembocadura en el mar Cantábrico, a través de la ría de Mogro, recorre 61 km con una dirección Sureste-Noroeste (Figura 2) (CHC, 2017). En su tramo alto, en la localidad de Entrambasmestas, recibe las aguas del arroyo Magdalena, y en el tramo medio, aguas debajo de Puente Viesgo, recibe las aguas de su principal afluente el río Pisueña, presentando la red fluvial constituida por los tres ríos, un recorrido superior a los 110 km (CMA, 2012).

Figura 2: Área de Estudio



Fuente: Elaboración propia.

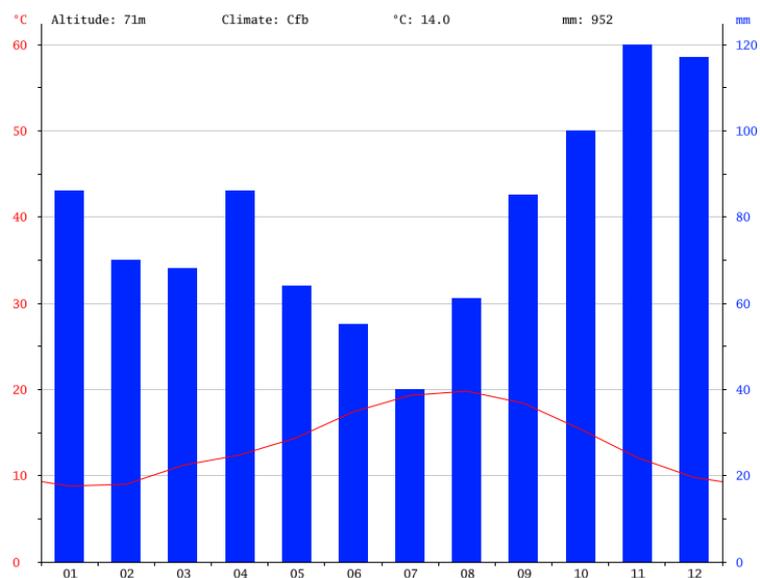
Las pendientes dominantes en la cuenca se sitúan entre el 20% y 39% suponiendo un 47,1% de la superficie total, localizándose principalmente en las cuencas media y alta. En la cuenca alta, en torno al Macizo de Castro Valnera (1.718 m) aparecen las pendientes máximas, de todo el ámbito de estudio, que oscilan entre el 40% y 80%. En la cuenca baja se localizan las pendientes mínimas, por debajo del 10%, que apenas representa una quinta parte de la superficie total, lo que habla del fuerte vigor del relieve del ámbito de estudio.

Cantabria presenta un clima de tipo oceánico o atlántico, templado y húmedo, según Cfb la clasificación de Köppen. No hay estaciones secas y los veranos son suaves, con temperaturas medias en torno a los 22°C en el mes más cálido. Santander, tiene una temperatura media de 9°C en el mes más frío, mientras que en el mes más cálido ronda 20°C, con una precipitación total anual que supera los 1.200 mm. Las precipitaciones en el resto de la superan los 1.000 mm/año, con máximos en la cabecera de los ríos Miera y Pas y en los Picos de Europa (Gutiérrez *et al.*, 2010).

En el Pas las precipitaciones medias anuales son de 1.343,8 mm, con máximos en los meses invernales y mínimos en verano. La cuenca baja presenta valores anuales medios superiores a los 1.300 mm, mientras que en el tramo medio oscilan entre los 1.000 y 1.800 mm, disminuyendo en la cabecera alta donde se registran unos 1.000 mm anuales. En cuanto a las temperaturas, la media anual es de 14°C, siendo la del mes más frío de unos 7°C y la del mes más cálido próxima a los 19°C. Cabe mencionar que hay un gradiente térmico medio de unos 5°C que se va incrementando desde la costa hacia el interior de la cuenca (CMA, 2012).

La evolución de las precipitaciones y temperaturas (medidas en el tramo medio, en la estación meteorológica de Puente Viesgo), muestran las características propias del clima atlántico, esto es, precipitaciones abundantes en invierno y primavera y mínimos en verano (julio) sin que llegue a producirse sequía estival (Figura 3) (Climate-Data, 2017).

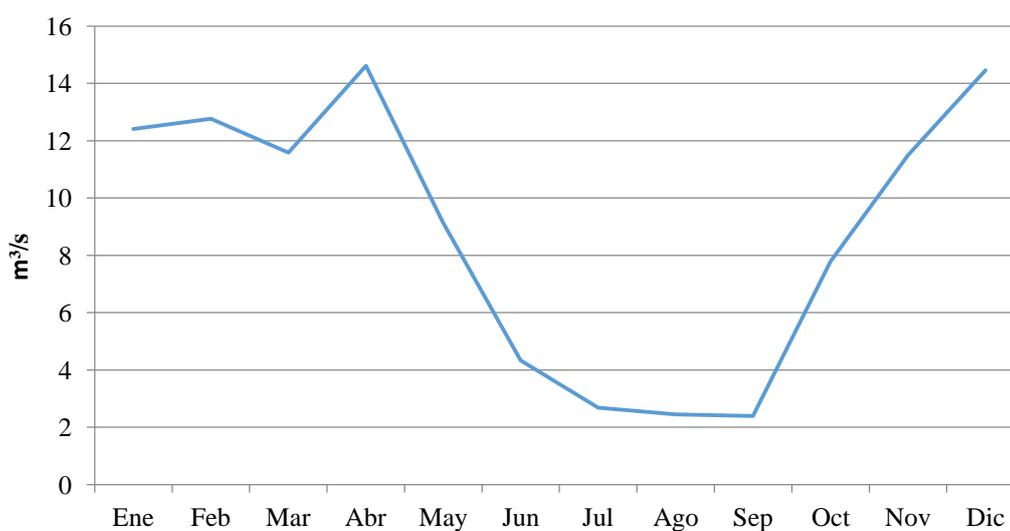
Figura 3: Climograma de Puente Viesgo



Fuente: Climate-Data, 2017.

El régimen del caudal medio del río se corresponde, en general, con el ámbito climático en el que se enmarca, si bien los problemas de fiabilidad de la estación de aforo hacen que el máximo secundario primaveral, asociado también a situaciones de fusión nival, sea excesivamente alto. Los mínimos aparecen durante los meses de verano, fundamentalmente en agosto y septiembre (Figura 4).

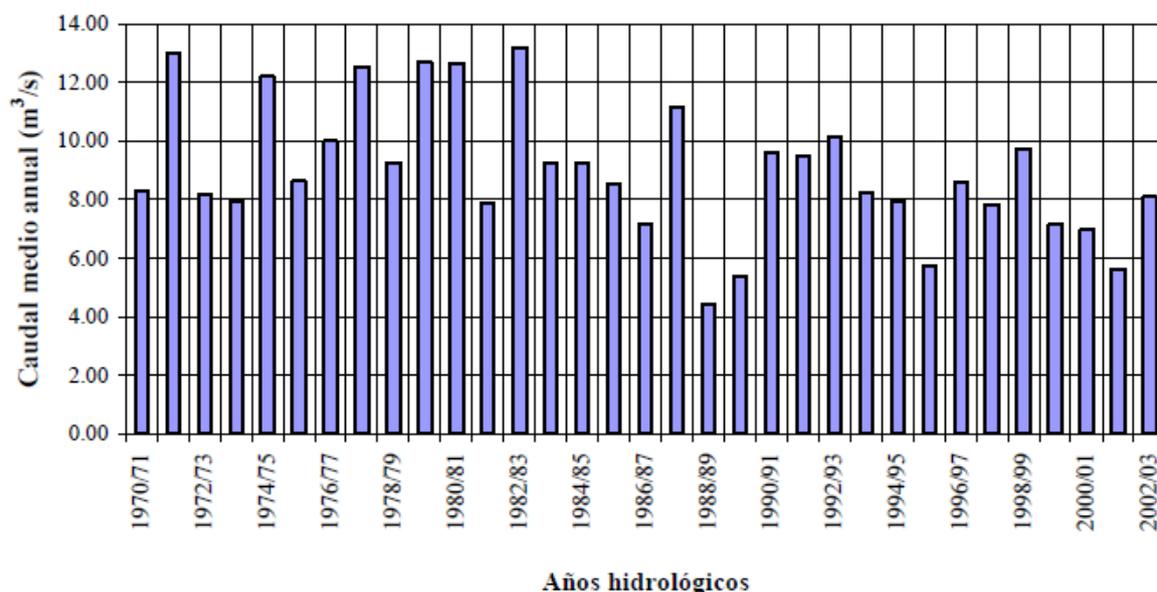
Figura 4: Régimen del Río Pas, 1969-2003



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la estación de aforo de Puente Viesgo (CMA, 2005: 63).

El análisis interanual de los caudales demuestra esta correlación con el régimen de precipitaciones y pone de manifiesto también la irregularidad de las situaciones que se dan entre años muy húmedos y años más secos. En el conjunto se observa una tendencia generalizada a una disminución del caudal medio anual (Figura 5).

Figura 5: Caudales medios anuales del Río Pas, 1970-2003

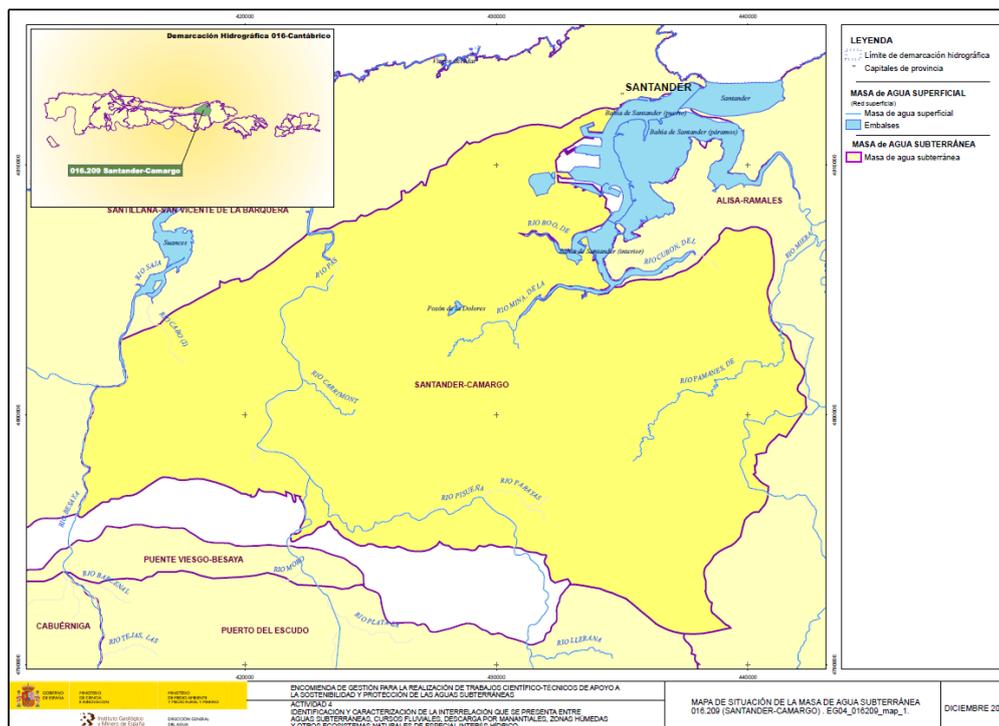


Fuente: CMA, 2005: 67.

Las variaciones del caudal no sólo dependen de las aportaciones derivadas de la precipitación, sino que también de la estructura temporal de la misma, por las temperaturas (evaporación-evapotranspiración), la litología y la cobertura vegetal (Iglesias, Estrela y Gallart, 2005).

Las características litológicas de la cuenca favorecen el desarrollo de una importante masa de agua subterránea, que abastece a Santander-Camargo, con una superficie estimada de 334 km<sup>2</sup>, por la que transcurren los cauces de los ríos Besaya, Pas, Pisueña y Miera (Figura 6) (IGME, 2010). Su recarga se produce por la infiltración del agua de lluvia precipitada sobre los afloramientos permeables, mientras que las salidas tienen lugar a través de manantiales que de forma natural, aportan unos 100 l/s, con unos valores anuales estimados entre 35 y 52 hm<sup>3</sup>/año (IGME, 2010). Esta área permitiría (haciendo un cálculo muy básico), abastecer a una población de entre 700.000 y 1.100.000 habitantes, si se estima un consumo medio de 130 l/día/hab.

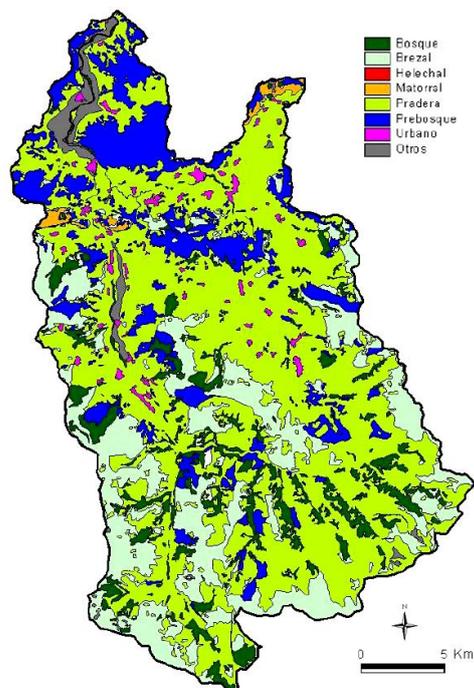
Figura 6: Sistema de agua subterránea que abastece a Santander-Camargo



Fuente: IGME, 2010: 2.

La cobertura vegetal juega un papel fundamental en un área que, como la que es objeto de estudio, presenta unas fuertes pendientes pues permite la retención de la escorrentía y favorece la infiltración. En la cuenca del Pas el 87% de la misma está constituida fundamentalmente por praderas, brezal y prebosque (CMA, 2005). En la cabecera la superficie forestal es muy reducida debido a la explotación que este recurso ha tenido tradicionalmente (dotación para reales fábricas, sistema de aprovechamiento pasiego...), y en el tramo medio y bajo predominan las zonas de cultivo (Figura 7) (CMA, 2012).

Figura 7: Cobertura vegetal en la cuenca del Pas



Fuente: CMA, 2005: 12.

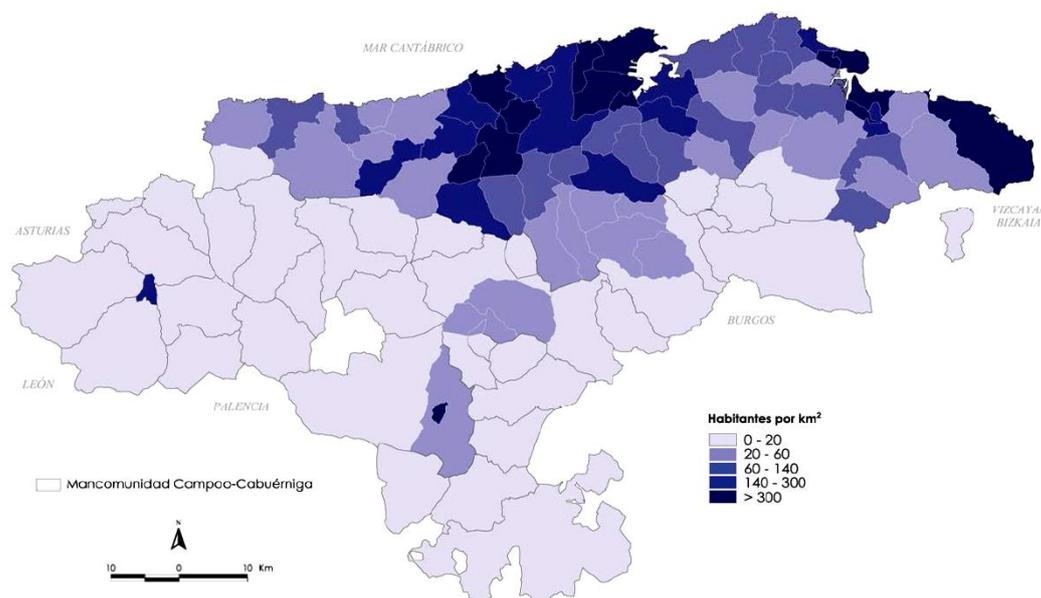
### **3.2. LA DEMANDA URBANA: PRESIÓN SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

El carácter eminentemente montañoso de Cantabria, caracterizado por unas moderadas altitudes y un fuerte vigor del relieve, contribuye a que los cursos fluviales adquieran un papel relevante como eje de poblamiento. En este entorno el lecho mayor del río ofrece unas condiciones muy favorables a las poblaciones: abastecimiento de agua, de energía, suelos fértiles, suaves pendientes para el asentamiento de los núcleos de población, de las actividades industriales, de las infraestructuras de comunicación... (Garmendia, 2013).

En la cuenca del Pas, constituida por 14 municipios (Castañeda, Corvera de Toranzo, Luena, Miengo, Piélagos, Puente Viesgo, San Pedro del Romeral, Santa María de Cayón, Santiurde de Toranzo, Saro, Selaya, Vega de Pas, Villacarriedo y Villafufre), se asientan 54.592 personas (ICANE, 2017), siendo Piélagos el que ostenta el 45% de la población. En los últimos veinte años se ha dado un incremento, con más de 18.000 habitantes, pero de forma desigual: en los municipios de la cuenca alta se está perdiendo población a favor del tramo medio y bajo, donde aumenta.

No obstante, es necesario tener en cuenta que los recursos hídricos de la cuenca sirven para abastecer a una población aún mayor: es necesario sumar los 234.080 habitantes de los municipios de Santander, Camargo, Astillero y Santa Cruz de Bezana (ICANE, 2017). La mayor densidad se da, por tanto, en los municipios más costeros, mientras que en los municipios de la cabecera las densidades son muy bajas. En Santander y sus municipios limítrofes se dan densidades por encima de los 300 habitantes por km<sup>2</sup>, tras ellos se encuentran los municipios de Piélagos, Miengo y Santa María de Cayón con 140 y 300 hab/km<sup>2</sup> respectivamente (Figura 8) (ICANE, 2017).

Figura 8: Mapa de densidad de población por municipios, 2016.



Fuente: ICANE, 2017: 61.

En Cantabria el acceso y disponibilidad de agua no ha planteado, tradicionalmente, grandes problemas a la población. La “abundancia” del recurso permitió proveer tanto a la población como a las diversas actividades industriales que se iban instalando a lo largo del río, reservando las de mejor calidad, las de los manantiales, para el consumo humano.

Figura 9: Acarreando agua en una herrada, por la cuesta de La Atalaya en 1900



Fuente: Duomarco, [años sesenta].

Santander, hasta la segunda mitad del siglo XIX, también se abastecía de manantiales, existiendo varias fuentes a lo largo de la ciudad a las que los ciudadanos acudían provistos con sus herradas (Figura 9), que llevaban hasta sus casas. Además de ser insuficiente este suministro (6 l/hab/día), se trataba de manantiales que brotaban casi a flor de tierra y que planteaban problemas de calidad (González Cañibano, 2004).

En 1874 Antonio de la Dehesa, fundador de la “*Sociedad de Abastecimiento de Aguas*”, tomó la iniciativa para conseguir un abastecimiento de agua abundante y de calidad, lo que logró en 1884, asegurando una disponibilidad de 200 l/hab/día (González Cañibano, 2004). El informe, encargado al ingeniero Ángel Mayo, determinó que la mejor opción para la ciudad era captar el agua de los manantiales de San Martín de Toranzo, pues eran de excelente calidad y tenían abundante caudal. Se buscaba,

*“... abastecer de aguas a Santander, tomándolas, no directamente del río, ni de lugares en que hubiera el grave inconveniente de que con frecuencia se enturbiaran, y a la cota conveniente para no necesitar máquinas elevadoras [...], y por supuesto de un manantial de aguas de una excelente calidad, siempre cristalinas, limpias, abundantes y ubicadas a una conveniente distancia y altura. Se buscaba también la panacea de que esta agua nunca pudiera faltar ni en la más pertinaz sequía seguía siendo esta una circunstancia de vital importancia, teniendo en cuenta el aumento de la población a través de los años...”* (González Cañibano, 2004; 6).

Pero de la Dehesa temía que una mayor disponibilidad del recurso hiciese que la población aumentase de forma desproporcionada su consumo y surgieran así conflictos. Demostró una gran visión de futuro cuando afirmó que *“... no había que crear unas expectativas de notoria abundancia de aguas para no crear la costumbre que cuando en un momento determinado esta faltase por breve que fuese, el preciado líquido se pudiera convertir en un arma de utilidad política produciendo irremediablemente conflictos de consecuencias imprevisibles...”* (González Cañibano, 2004; 6). Ya veremos que no se equivocó.

### **3.3. INFRAESTRUCTURAS PARA EL ABASTECIMIENTO**

Con la intensificación de los consumos industriales y el aumento poblacional de Cantabria en las últimas décadas se está manifestando una situación insostenible en la demanda de agua, sobre todo en la época estival. Por ello, desde el Gobierno de Cantabria, con la ayuda del Gobierno de España y la Comisión Europea, se han buscado soluciones para satisfacer

la demanda urbana e industrial de la región, desde un punto de vista de crecimiento racional y sostenible, cumpliendo la Directiva Marco del Agua (DMA) (Gobierno de Cantabria, 2007).

Son dos las soluciones adoptadas, una de regulación y otra de interconexión. En la de regulación se almacena el agua durante el invierno para luego utilizarla en el periodo estival, y en la de interconexión se comunican los núcleos urbanos con, al menos, una fuente de recursos hídricos. Para la retención se ha optado por el Bitrasvase Ebro-Besaya-Pas, puesto que no era viable la realización de nuevos embalses, mientras que la interconexión se realiza con la construcción de la Autovía del Agua (Figura 10) (Gobierno de Cantabria, 2007).

*Figura 10: Mapa del Sistema de Abastecimiento de Agua a Cantabria: la Autovía del Agua*



Fuente: Ramos, 2011.

### **3.3.1. El Bitrasvase Ebro-Pas-Besaya: una fuente sin retorno**

El primer bitrasvase Ebro-Besaya, de 1980, se hizo para solucionar los problemas derivados de la demanda industrial y las necesidades urbanas de Torrelavega, cuya población sufría graves restricciones en particular en los meses de verano. La idea era llevar el agua que en invierno "sobraba" en la cuenca norte al Ebro y almacenarla allí para llevarla de vuelta durante el verano al Besaya. Todo funcionó correctamente hasta los años

noventa en los que se empieza a manifestar con mayor intensidad la situación de escasez en la ciudad de Santander. Se plantea entonces la construcción de un nuevo bitrasvase (Ebro-Pas-Besaya) con una capacidad inicial de 15 hm<sup>3</sup>, que luego se amplía a 26 hm<sup>3</sup> pues se piensa en las demandas de la zona costera (PGAS, 2015; Diario Montañés, 2016).

El bitrasvase Ebro-Pas-Besaya es una infraestructura hidráulica de captación, bombeo, conducción y depósito, que permite transportar el agua en las épocas húmedas del Besaya al Embalse del Ebro, mediante estaciones de bombeo e impulsiones, y en el estiaje mandarla a través del Pas hacia Santander, Torrelavega y la zona oriental de Cantabria, en épocas de mayor demanda y menor disponibilidad, para así reducir la sobreexplotación del Pas y garantizar el caudal ecológico (Gobierno de Cantabria, 2007; Ramos, 2011).

Para el abastecimiento de la infraestructura, hay un ramal que capta las aguas en el Embalse del Ebro y las transporta hasta el depósito de La Bifurcación, desde donde se derivan caudales al ramal de Santander y al ramal de Torrelavega, con un caudal de transporte de 2.450 l/s. El ramal, de casi 22 km, es reversible, por lo que desde él también se transportan aguas hacia el Embalse del Ebro, que son captadas en los bombeos de Los Corrales e Hirvienza. Para realizar el paso de la divisoria de aguas de la Cordillera se utiliza el Túnel de la Virgen de las Nieves, preexistente, de 4.207 m de longitud. El bombeo es en dos etapas una, en la estación de bombeo del Ebro, en la que el agua es impulsada hasta la boca del túnel y a partir de aquí es transportada por gravedad hasta la estación de bombeo de Alsa, desde la que de nuevo se impulsa hasta el depósito de La Horca, y, desde aquí, ya discurre por gravedad hasta el depósito de bifurcación y se reparte hacia los ramales de Santander y Torrelavega (Ramos, 2011).

Para el remonte se capta el agua en el azud de Los Corrales de Buelna y se impulsa hasta el depósito de La Bifurcación, donde es de nuevo impulsada hasta el depósito de La Horca, desde aquí el agua discurre por gravedad hasta la boca norte del Túnel de la Virgen de las Nieves y llegar al Embalse del Ebro. La capacidad de estos bombeos permite transportar un caudal de 700 l/s (Ramos, 2011).

Los municipios costeros presentaban un déficit de agua, para el suministro urbano en años secos, porque dependían de las captaciones de Santiurde de Toranzo en el río Pas, pero

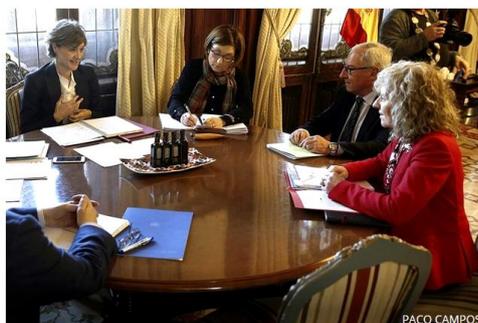
gracias a la ejecución y puesta en marcha del bitrasvase, se garantiza el abastecimiento del área metropolitana de Santander en los meses de estiaje, respetando los caudales medioambientales del Pas (Ramos, 2011).

El bitrasvase tiene una capacidad de unos 20 hm<sup>3</sup>, que se distribuyen a lo largo de 60 km. Esta obra comenzó en 2004 con un presupuesto de 101 millones de euros, y asegura un suministro de agua de calidad a 300.000 personas (Gobierno de Cantabria, 2007). El sistema estaba listo en julio de 2007, pero hasta agosto de 2010 no ha sido cuando ha entrado en funcionamiento, con el fin de abastecer a Santander y a los municipios conectados a su red (Camargo, El Astillero y Santa Cruz de Bezana) por primera vez en la historia, aportando un caudal medio de 490 l/s durante 30 días (Ramos, 2011).

Sin embargo, el gobierno de Cantabria está incumpliendo los acuerdos establecidos pues nunca ha devuelto el agua que capta del pantano del Ebro (se restituye en invierno y se toma en verano), esto es, quiere que el bitrasvase sea sólo trasvase. Ha solicitado, tanto a la Confederación del Cantábrico como a la del Ebro, que se realicen unos estudios para la mejora del abastecimiento... Trabajos que suponen, sumando unos y otros, un importe de 440.000 euros. (Diario Montañés, 2016). Se genera así una situación insostenible ambiental y económicamente (Figura 11) (Europa Press, 2016; Vive Campoo, 2016), cuya ilegalidad ha llevado, incluso, a anular el Plan General de Ordenación Urbana de Santander, por la "insuficiencia de recursos hídricos" (Diario Montañés, 2016).

*Figura 11: El Gobierno de Cantabria quiere convertir el bitrasvase en trasvase*

europapress / cantabria / sostenible Publicado 28/12/2016 14:53:19 CET  
**Cantabria "no puede devolver" el agua que capta del Ebro y pide una solución a Ministerio**



Fuente: Europa Press, 2016.

### **3.3.2. La Autovía del agua: abasteciendo a la costa**

La autovía del agua es una infraestructura en realización, con la que se va a hacer frente a la demanda urbana e industrial de la región, con el fin de permitir y promover un crecimiento racional y sostenible. Se pretende almacenar el excedente de agua del periodo invernal, para luego ser utilizada en la época estival, para ello se van a comunicar las cuencas de la vertiente norte de Cantabria hasta una conducción paralela a la costa desde el río Deva hasta Castro Urdiales. Al eje primario se le incorporan, en sentido perpendicular, fuentes de agua existentes, fluyentes y reguladas, en concreto el bitrasvase, y las áreas de demanda, conectando los recursos hídricos de las cuencas donantes con zonas costeras de escasez (Gobierno de Cantabria, 2007; CMA, 2013).

La autovía del agua posee una longitud total de aproximadamente 160 km, comenzó a realizarse en 2004, teniendo previsto su conclusión en 2007, con un presupuesto de 180 millones de euros, pero no se ha concluido hasta noviembre de 2016. En la actualidad, solo queda unir la Autovía del Agua con el depósito de Pronillo en Santander, para el abastecimiento de la ciudad (Europa Press, 2016-2017; Gobierno de Cantabria, 2007).

Gracias al bitrasvase Ebro-Pas-Besaya, con el agua almacenada en el embalse del Ebro se podrán satisfacer los usos estivales de gran parte de la población de Cantabria. Por ello, la suma de las dos infraestructuras permitirá resolver los problemas de abastecimiento en la Región (CMA, 2013).

### **3.3.3. Infraestructuras y consumo**

El consumo urbano de agua en España durante el siglo XX se incrementó de forma exponencial, independiente de la fluctuación que se produjo en la población, generando, en no pocas ocasiones, peligrosas situaciones de estrés hídrico. Si bien esta tendencia ha ido decreciendo gradualmente a partir del 2003 y 2004 (en algunas regiones este descenso comenzó a finales de la década de los años noventa), las cifras están aún muy lejos de los valores recomendados por la Organización Mundial de la Salud, que establece como umbral los 100 l/hab/día (Howard and Bartram, 2003). El excesivo consumo era particularmente importante en Extremadura, Valencia y en las regiones de Asturias y Cantabria, en las que se superaban los 180 l/hab/día (INE, 1998-2016). De seguir así cabe

esperar que esta situación se agrave pues los escenarios que diseñan los modelos climáticos revelan una fuerte disminución de la disponibilidad hídrica, particularmente intensa en los meses de verano.

En la actualidad el agua de Santander se capta a través de manantiales (afloramientos espontáneos de agua) del valle del Pas: el de La Quintanilla (240 l/s), La Sovilla (100 l/s), El Arca (50 l/s) y, el más importante, el manantial de La Pila (4 m<sup>3</sup>/s), en San Martín de Toranzo. El agua no se recoge directamente, sino que se capta unos 700 m aguas abajo, al paso por un aforador, mediante un azud que desvía el agua hacia la conducción general. Además de estos puntos también se cuenta con dos galerías filtrantes que recogen el agua por sus paredes y lo lleva a la conducción general. En concreto hay dos: la superior, que nace junto al río de La Pila y la inferior, que recoge sus propias aguas y las del arroyo de Los Tordillos, y mediante el bombeo de impulsión de Las Campizas, se lleva el agua a la conducción general (AQUALIA, 2015).

El río Pas en El Soto, y el río Pisueña en La Penilla también son puntos de captación de aguas. Se realiza mediante un azud de derivación en el río, que hace que las aguas pasen a un canal y de ahí mediante un bombeo se incorporan a la conducción general, a través del túnel de El Soto y del túnel de Carceña. El de El Soto puede elevar el agua a 40 m de altura y tiene un caudal de 650 l/s, mientras que el de La Penilla también puede elevar las aguas a 40 m de altura, pero tiene un caudal mayor de 760 l/s (AQUALIA, 2015).

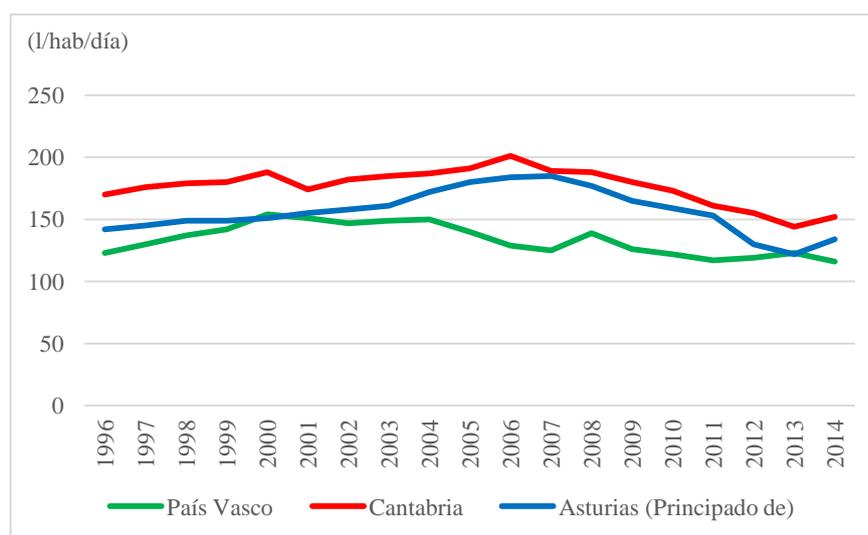
Hoy en día, la recogida de agua de los ríos es muy difícil debido a que cuando hay escasez de aguas los niveles ecológicos de los ríos están al límite, entonces no se puede coger agua de ellos, es el caso del Pas cuando llega a 720 l/s, 459 l/s en el caso del Pisueña y 50 l/s en el de La Pila. Cuando hay estiaje y se alcanzan los niveles ecológicos de los ríos se utiliza el bitrasvase, llaman al Pantano del Ebro y mandan agua transvasada hacia la cuenca del Pas, que luego durante el invierno se debe devolver a través de la cuenca del Besaya (AQUALIA, 2015).

Hasta hace apenas unos años, el suministro dependía de la pluviometría pues no hay embalses de regulación. Y ello ha supuesto siempre un problema durante los meses

estivales, particularmente entre julio y septiembre, cuando se produce un déficit de escorrentía superficial y el turismo incrementa notablemente la demanda.

Se desconocen los motivos precisos que explican el elevado consumo que persiste en la región. Algunos autores han señalado que puede estar relacionado con el bajo coste unitario del agua, pero este argumento es difícilmente justificable a tenor de la información publicada anualmente por el INE en la “Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua”. Son esclarecedores los últimos datos publicados (2016, con información del año 2014): Cantabria y el País Vasco se sitúan en el noveno y décimo puesto respecto a este parámetro (ambas con un 1,75 €/m<sup>3</sup>), y Asturias en el catorceavo (con 1,32 €/m<sup>3</sup>), pero se da la paradoja de Cantabria se encuentra entre las que mayor consumo presenta, ocupando el tercer puesto (152 l/hab/día) y Asturias el quinto (134 l/hab/día), mientras que el País Vasco tiene el cuarto más bajo (116 l/hab/día). Observando los datos, de 1996 a 2014, de las tres provincias (Figura 12) se aprecia como el consumo en Cantabria es siempre superior al de las provincias limítrofes, siendo el del País Vasco el menor a lo largo de la línea evolutiva.

*Figura 12: Evolución del consumo de agua para el abastecimiento urbano en Cantabria, País Vasco y Asturias (en l/hab/día), 1996-2014*

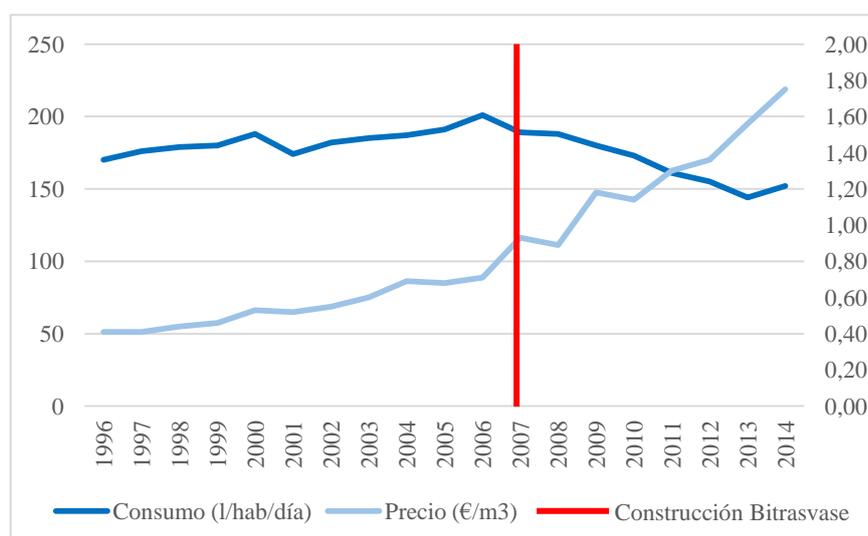


Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 1998 - 2016.

En Cantabria se aprecia como a partir de 2006 hay un descenso prolongado en el consumo del agua, que parece coincidir con la puesta en marcha del bitrasvase Ebro-Pas-Besaya, que ha supuesto el encarecimiento de la misma. No obstante esto se produce hasta 2013

pero en 2014 aparece un nuevo repunte del consumo, al tiempo que el precio sigue subiendo (Figura 13).

Figura 13: Evolución del precio (€/m<sup>3</sup>) y el consumo de agua (l/hab/día) para el abastecimiento urbano en Cantabria, 1996-2014



Fuente: Elaboración propia a partir de INE, 1998 - 2016.

Este hecho abre otras vías que permiten pensar que las causas responden más a cuestiones de percepción y educación de la población, que sobreestima la abundancia del recurso y no entiende, o valora, la fragilidad del mismo. A ello ha podido contribuir que los servicios de abastecimiento priorizan el suministro urbano, en detrimento de otros usos, e incluso dejando sin suministro a los habitantes del Pas, y sólo en contadas ocasiones se han producido cortes en el suministro, que han afectado a parte de la ciudad.

La demanda urbana del agua va en aumento. Mientras que los gobiernos están invirtiendo en infraestructuras que permiten abastecer al conjunto de la población de la región, como son el bitrasvase Ebro-Besaya-Pas y la Autovía del Agua, los habitantes siguen consumiendo agua por encima de la cantidad recomendada por la Organización Mundial de la Salud. Lo que hace que se planteen ciertas incógnitas como ¿qué pasa con el cambio climático?, ¿necesitaremos nuevas infraestructuras para el abastecimiento?

## **4. CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS HÍDRICOS**

El cambio climático es una realidad y una de las principales preocupaciones que afecta a la sostenibilidad futura del desarrollo de la actividad humana. En los últimos años se han realizado investigaciones sobre las causas de este fenómeno y cuál será su tendencia, para poder tomar medidas preventivas de adaptación. Los estudios realizados demuestran que la temperatura ha aumentado 0,74°C en los últimos 100 años, siendo los últimos en los que más rápido se ha producido este ascenso, confirmando el calentamiento global, por el cual se constata el incremento de condiciones extremas (olas de calor, sequías, inundaciones, etc.) (Gutiérrez *et al.*, 2010).

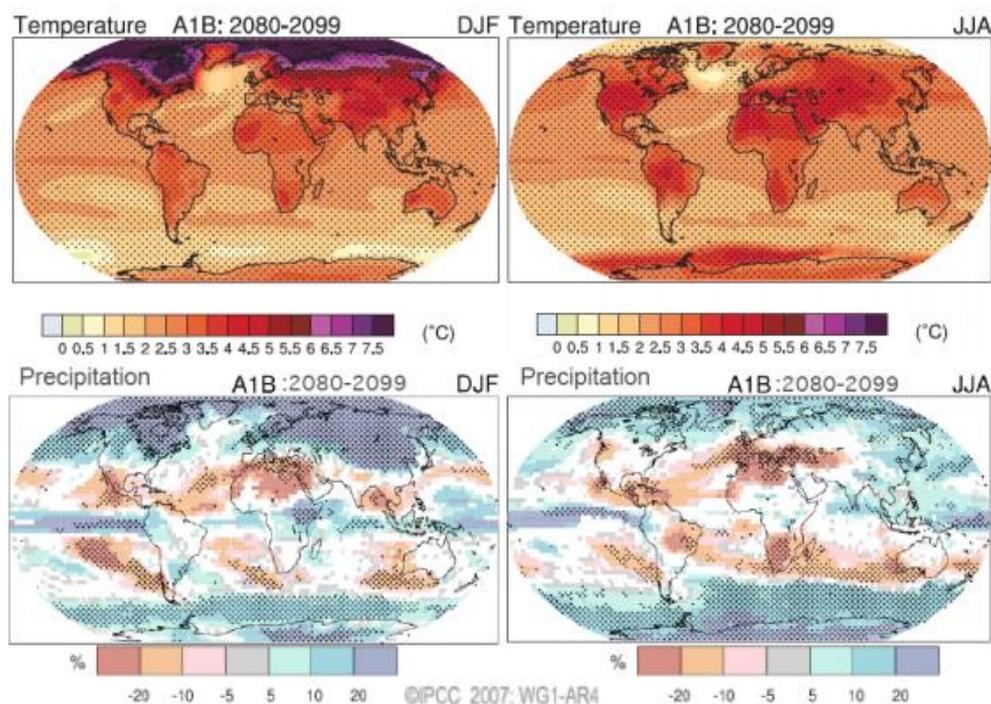
En España el cambio climático se traducirá en un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación, que causará la disminución de aportaciones hídricas y un aumento de la demanda en los sistemas de regadío. Se estima que los recursos hídricos sufrirán una importante disminución a finales de siglo, prácticamente una quinta parte de los mismos, entre el 20 y el 22% (Moreno, 2005).

El principal problema del cambio climático en las zonas costeras españolas se relaciona con el ascenso del nivel medio del mar, que podrá causar pérdidas de un número importante de playas en el Cantábrico (Moreno, 2005).

### **4.1. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CANTÁBRICO: ESCENARIOS SEGÚN LOS MODELOS**

Con el cambio climático se pronostica un incremento de la temperatura y una variación de las precipitaciones. Según los modelos del IPCC-AR4 (Figura 14), el aumento de las temperaturas será de hasta 7,5°C y las precipitaciones variaran, dependiendo de su localización, con un máximo del 20% (Gutiérrez *et al.*, 2010).

Figura 14: Proyecciones de temperatura y precipitación para finales de siglo del IPCC-AR4



Fuente: Gutiérrez et al., 2010.

En la región cantábrica, estas variaciones se plasmarán en un aumento de la temperatura de entre 2 y 4°C, de forma más suave en el litoral y el centro de Cantabria, que en la zona del Ebro y en Liébana, donde serán entre 1 y 2°C superiores a las costeras. El gradiente será más acusado en verano, llegando a los 4°C de diferencia entre la costa y el Ebro. Por el contrario, las temperaturas mínimas serán más uniformes a lo largo de la región (Gutiérrez *et al.*, 2010).

La precipitación, por su parte, se reducirá entre 50 y 200 mm, en toda la región, llegando a reducirse el 20%, con máximos de hasta el 40% en el valle de Liébana. Los cambios varían estacionalmente, siendo las mayores reducciones en primavera y otoño, mientras que en invierno, la disminución de precipitación será menos acusada (Gutiérrez *et al.*, 2010).

Se ha realizado una simulación de las precipitaciones y temperaturas esperables a consecuencia de los cambios en las condiciones climáticas, para ello se ha usado el modelo propuesto en el ATEAM Project, TYN SC 1.0, en el que a partir de los datos actuales de precipitación y temperatura de Vega de Pas se han estimado cuales serán los registros para el 2100. Esta simulación se basa en cuatro modelos (HadCM3, CSIRO2, CGCM2, PCM), los cuales, a su vez, son utilizados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el

Cambio Climático (IPCC) para sus modelos. El TYN SC 1.0 ofrece 16 escenarios, que proyectan una incertidumbre climática, puesto que no se sabe a ciencia cierta cómo va a evolucionar el clima, de los cuales se ha optado por analizar los datos del 9 y del 12, siendo el 9 el escenario menos favorable y el 12 el más favorable.

En el caso de las temperaturas se observa como en ambos casos el incremento de las mismas será sustancioso, sobre todo en los meses estivales, pasando de mínimas de 6,9°C, en la actualidad, a 9,1-10,9°C (marcados en azul) en los escenarios 12 y 9 respectivamente. En cuanto a las temperaturas máximas, en la actualidad se encuentran por debajo de los 20°C, mientras que en el escenario 9 rondan los 28°C y en el 12 los 24°C (marcados en rojo). Siendo las medias anuales entre 3 y 6°C superiores a las actuales (Tabla 1).

*Tabla 1: Temperaturas Vega de Pas (°C), según el modelo TYN SC 1.0 (ATEAM Proyect)*

	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC
ACTUAL	6,9	7,4	9,2	10,2	13,2	16,3	18,3	18,6	16,9	13,7	9,8	7,6
ESCENARIO 9	10,9	11,2	13,2	14,8	18,8	24,5	27,3	27,7	24,3	19,7	14,3	11,3
ESCENARIO 12	9,1	9,4	10,8	12,1	15,8	20,5	23,2	23,7	20,7	16,8	11,9	9,2

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ancell Trueba, R. y Célis Díaz, R. 2013 y de Tyndall Centre 2003.

Por su parte las precipitaciones van a descender entre 330 y 420 mm, dependiendo del escenario observado. En ambos se aprecia un incremento de las precipitaciones en el mes de enero, mientras que en el resto de meses el descenso de las mismas es significativo. En el escenario 9 se reducen en torno a los 107 mm de media mensual siendo abril el mes con mayor diferencia (70 mm), en el escenario 12 la diferencia está en torno a los 115 mm de media mensual, siendo noviembre el que mayor diferencia presenta (51 mm) (Tabla 2). En el total anual, la disminución de la precipitación es del 25% en el escenario 9 y del 20% en el escenario 12.

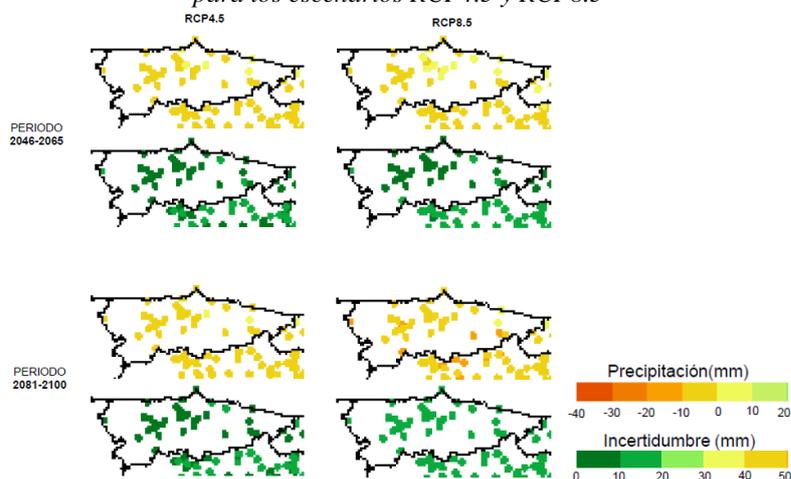
Tabla 2: Precipitaciones Vega de Pas (mm), según el modelo TYN SC 1.0 (ATEAM Proyect)

	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC	TOTAL
ACTUAL	193,00	148,00	171,00	170,00	142,00	88,00	72,00	90,00	98,00	134,00	218,00	187,00	1.711,00
ESCENARIO 9	225,96	140,95	101,33	100,05	100,15	51,26	24,48	46,08	45,13	90,91	202,98	163,15	1.292,43
ESCENARIO 12	213,78	145,42	122,87	124,02	114,85	68,42	40,32	59,40	59,71	121,84	167,33	140,39	1.378,33

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Ancell Trueba, R. y Célis Díaz, R. 2013 y de Tyndall Centre 2003.

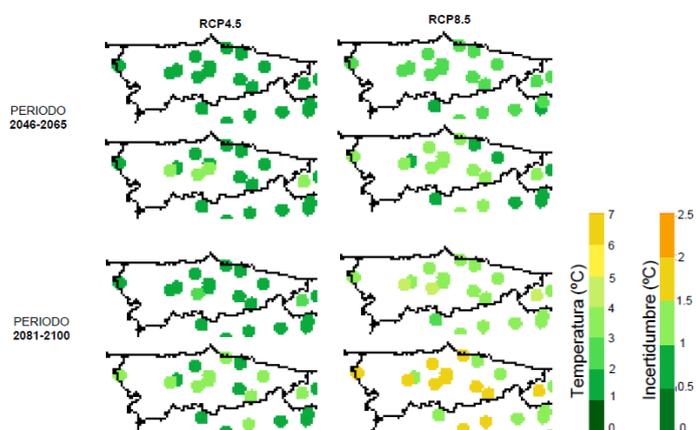
Este modelo utilizado, de menor complejidad, ofrece similitudes con el utilizado por el IH en el estudio realizado en la costa asturiana, para el que se han planteado varios escenarios climáticos basados en Rutas Representativas de Concentración (RCP), que se dividen en cuatro escenarios establecidos por el IPCC, en concreto se han utilizado los escenarios RCP4.5 y el RCP8.5. Los resultados del cambio en las precipitaciones, predicen disminuciones medias de hasta 40 mm para finales de siglo. En cuanto a la temperatura, se pronostican aumentos de entre 1 y 2°C tanto en las máximas como en las mínimas, llegando a aumentar hasta 5°C en algunos puntos del sureste asturiano (Figuras 15 a 17).

Figura 15: Cambios en la precipitación anual acumulada media e incertidumbre asociada para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5



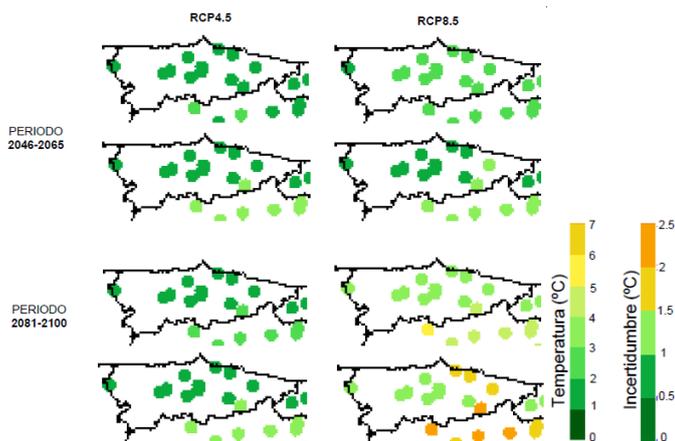
Fuente: Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015.

Figura 16: Cambios en la temperatura mínima anual media e incertidumbre para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5



Fuente: Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015.

Figura 17: Cambios en la temperatura máxima anual media e incertidumbre para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5



Fuente: Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015.

Con los datos obtenidos con el modelo TYN SC 1.0, para los escenarios 9 y 12 se ha realizado el balance hídrico, con el fin de observar el régimen fluvial del río. Para ello, se ha utilizado el cálculo de la evapotranspiración potencial de Thornthwaite. Si aplicamos este modelo a los datos de temperatura y precipitación actuales, se obtiene que de los 1.711 mm de precipitación, el 60%, unos 1.000 mm son los que alimentan el caudal del río, con un régimen del fluvial con la existencia de cuatro meses de estiaje (marcado en rojo). En el escenario 9 de los 1.028 mm de precipitación, solo el 35% alimenta el río, y el régimen fluvial cuenta con 6 meses de estiaje. En el escenario 12, es el 41%, de los 1.378 mm, de la precipitación la que prevé que alimente el caudal del río, contando, también, con seis meses de estiaje (marcado en rojo) (Tabla 3).

Tabla 3: *Balance Hídrico Vega de Pas (mm), según el modelo TYN SC 1.0 (ATEAM Proyect)*

	EN	FB	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SP	OC	NV	DC	TOTAL
ACTUAL	172,46	125,02	134,47	123,26	71,55	0,00	0,00	0,00	0,00	39,88	185,83	165,50	1.017,95
ESCENARIO 9	170,70	96,52	40,12	39,31	19,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,58	451,88
ESCENARIO 12	169,83	109,84	75,41	76,97	50,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	88,81	571,14

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de AEMET 2011 y de Tyndall Centre 2003.

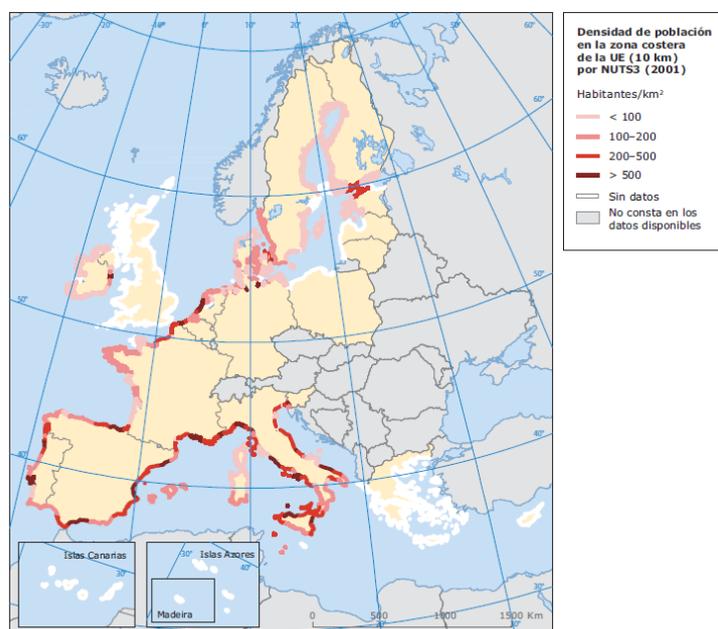
Los cambios en el régimen hídrico del río, por el cambio climático, van a ser cuantiosos. El principal efecto del cambio climático será el aumento de la evapotranspiración, puesto que a mayores temperaturas mayor es la evapotranspiración, haciendo que el agua que llega al cauce sea mucho menor, y si a ese efecto se le suma la disminución de las precipitaciones, aparecen problemas de déficit hídrico.

## **4.2. LAS VARIACIONES DEL NIVEL DEL MAR**

### **4.2.1. Factores de las variaciones**

La trascendencia de los cambios del nivel del mar sobre las actividades socioeconómicas es evidente, por cuanto afectan a la exposición e inundación de los bordes continentales. En nuestro país adquiere una importancia mayor, si cabe, pues (Figura 18), “... *la superficie ocupada por áreas construidas en el primer kilómetro de franja costera supera el 45%. En estas zonas, el desarrollo urbanístico continúa en la zona interior del litoral.*” (AEMA, 2008: 15). Pero, además, este factor afecta también a la disponibilidad de los recursos hídricos.

Figura 18: Densidad de la población en zonas costeras europeas (hasta 10 km hacia el interior). 2001



Fuente: AEMA, 2008: 17.

Las variaciones del nivel del mar se producen en función de dos componentes: la componente eustática y la componente termostérica. La primera de ellas hace referencia al incremento de la masa oceánica por el deshielo, mientras que el segundo hace referencia al incremento del volumen oceánico por expansión térmica y disminución de la densidad. A estos factores hay que sumarle el ajuste isostático, por el cual cuando se acumula o libera carga en la litosfera, se producen hundimientos o ascensos de compensación, que mantienen el equilibrio. La litosfera es más gruesa bajo los continentes que bajo las cuencas oceánicas, debido al peso de la masa continental, por lo que si se produce un incremento o una pérdida de la carga sobre los continentes estos se hundan o se elevan (Stahler, 1987; Uriarte, 2010). El clima y el tiempo atmosférico afectan de diferentes maneras y escalas a los cambios del nivel del mar, desde cambios menores, como variaciones de la presión atmosférica, hasta modificaciones de mayores dimensiones, como son los ciclos glaciares e interglaciares (Rivas, 2000).

A lo largo del Holoceno se ha producido una sucesión de periodos cálidos y fríos, que han causado fluctuaciones en el nivel del mar, pasado de estar a 120 m por debajo del actual a 6 m por encima en el último interglaciar (Rivas, 2000). Más recientemente, según informes del IPCC basados en registros costeros, a lo largo del siglo XX el nivel del mar ha

ascendido 18 cm, entre 1,5 y 2 mm/año. La incertidumbre es amplia por la escasez de estaciones y porque los cálculos son muy complejos (Uriarte, 2010).

Los 18 cm de ascenso del nivel del mar están conformados por la suma de dos factores, el deshielo continental (componente eustática), que se estima en 14 cm, mientras que el resto, 4 cm, son por la expansión térmica del océano (componente termostérica). La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOA) ha realizado estudios con millones de perfiles térmicos de los océanos a 3.000 m de profundidad, demostrando que entre 1955 y 2004 se ha producido un incremento de la temperatura de 0,04°C (Uriarte, 2010).

La tendencia de ascenso del nivel del mar ha ido variando, en el siglo pasado era de entre 1 y 1,5 mm/año, en los últimos 50 años ha aumentado a entre 2 y 2,5 mm/año. Estos datos son comparables con el aumento de la temperatura del aire, el retroceso de los glaciares de montaña y la migración del bosque boreal. Para el 2100 hay escenarios que pronostican un ascenso del nivel del mar entre 15 y 95 cm (Rivas, 2000). El IPCC pronostica el ascenso será de 50 cm, siendo debidos a:

- Ascenso de 30 cm por la expansión térmica
- Ascenso de 20 cm por la fusión de glaciares no polares
- Ascenso de 10 cm por la fusión del manto de Groenlandia
- Descenso de 10 cm por acumulación del manto de hielo austral, ya que con el calentamiento se daría lugar a un aumento de las precipitaciones de nieve en la Antártida (Uriarte, 2010).

#### **4.2.2. El ascenso del nivel del mar en el Cantábrico**

En el litoral Cantábrico hay un acusado incremento de la erosión en morfologías costeras por el ascenso del nivel del mar. En los datos meteorológicos registrados entre 1940 y 1990 se observa una frecuencia e intensidad constante de los temporales. Mientras que los mareógrafos no permiten establecer si el nivel del mar ha ascendido. Hay evidencias del proceso por el cambio en la tendencia de evolución de la costa. Las proyecciones son al aumento de la tasa de ascenso del nivel del mar, que provocará el incremento de la erosión costera (Rivas, 2000).

Los modelos climáticos, para el Cantábrico, prevén un aumento de entre 18 y 59 cm del nivel del mar para finales de siglo, que desplazará la línea de costa hacia el interior, afectando a los recursos costeros. Los impactos más severos se darán en episodios regionales (temporales), que desencadenan la subida del nivel del mar y el fuerte oleaje. En el litoral cantábrico los temporales han cambiado las morfologías costeras, rompiendo flechas litorales, generando colapsos en acantilados, daños en infraestructuras y destruyendo los arenales costeros y las playas (Rasilla, 2013).

El mareógrafo de Santander indica que el nivel del mar ha ido aumentando unos 2 mm/año en la segunda mitad del siglo XX, acelerándose en los últimos decenios. Esta tasa es similar a las ofrecidas por mareógrafos en Galicia y en Bretaña, pero son superiores a las dadas a nivel global. Por la correlación obtenida con el aumento de la temperatura superficial de las aguas del Cantábrico, se puede decir que la expansión térmica es la principal causa del ascenso (Rasilla, 2013).

El cambio climático comprende, además de la subida del nivel del mar, alteraciones en la frecuencia, intensidad, extensión y duración de los eventos extremos. La combinación del aumento de nivel del mar y los cambios en los eventos extremos dan lugar a riesgos de inundación en zonas bajas y a la aceleración de la erosión costera (Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015).

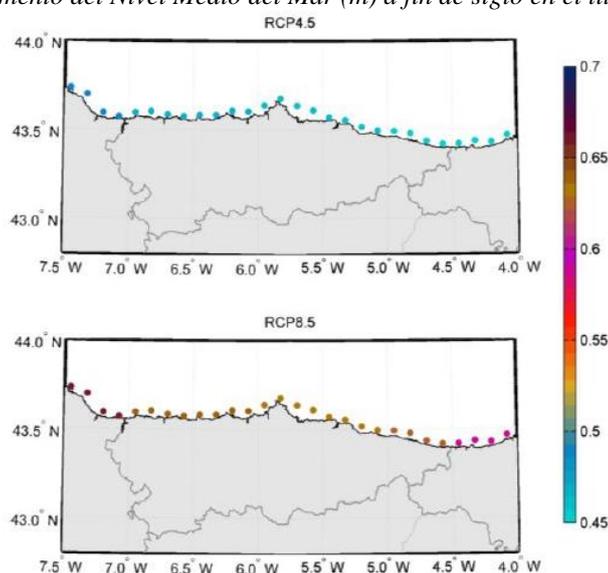
La subida del nivel medio del mar, por la acción del cambio climático, lleva a la inundación permanente de terrenos costeros. Se pueden distinguir dos tipos de inundaciones costeras: la inundación permanente debida al aumento del nivel medio del mar y la inundación potencial a causa de eventos extremos (Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015).

El aumento del nivel del mar originado por el cambio climático, quedó reflejado en los temporales que acontecieron en la costa cantábrica en el invierno de 2014. Estos temporales causaron estragos, provocando importantes daños estructurales en puertos y en el frente costero, numerosas inundaciones y grandes erosiones en playas (Losada, Izaguirre

y Diaz Simal, 2015). Como en el Temporal Xhintia (2010) que produjo una sobreelevación del próxima a los 150 cm en La Vendeé (Francia) (Rasilla, 2013).

En el estudio realizado en la costa asturiana por el IH se han planteado los escenarios RCP4.5 y el RCP8.5 (Figura 19), con el fin de observar cuál será el aumento del nivel medio del mar para final de siglo en el litoral asturiano, obteniendo que hay poca variabilidad con valores en torno a 0,47 m para el escenario RCP4.5 y a 0,62 para el escenario RCP8.5 (Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015).

*Figura 19: Aumento del Nivel Medio del Mar (m) a fin de siglo en el litoral asturiano*



Fuente: Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015.

Por otro lado, el cambio climático también conlleva cambios significativos en las características morfológicas de los estuarios y, por tanto, en el balance sedimentario de los mismos (Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015). Éstos poseen una configuración morfológica que depende de las condiciones hidrodinámicas y de los aportes sedimentarios que recibe, pero también intervienen los caudales fluviales y el oleaje. El parámetro esencial es el prisma de marea, que se ve afectado por la variación del nivel del mar y por el crecimiento de las cotas de los bajos interiores (Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015).

El estudio realizado en la costa asturiana por el IH, se centra en el estuario de Villaviciosa mostrando que los bajos interiores experimentarán un aumento de su cota cuyos valores medios se han estimado entre los 6-9 cm y 18-25 cm para los años horizonte, 2050 y 2100, respectivamente, siendo el sedimento procedente fundamentalmente del río y de la

redistribución de sedimento en el interior del estuario (Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2015).

En este contexto en la región cantábrica se está experimentando un aumento de las temperaturas y un descenso de las precipitaciones, que se cuantifican para finales de siglo entre los 2 y 4°C y entre los 50 y los 200 mm respectivamente. Al mismo tiempo se está produciendo un aumento del nivel del mar, estimando para finales de siglo entre los 18 y los 59 cm, que afectará a los sistemas costeros, en particular en a los estuarios, pudiendo alcanzar las aguas subterráneas y con ello afectar al abastecimiento de los habitantes, lo que supondrá un nuevo reto.

Pero además, se observa un descenso generalizado de los niveles freáticos debido a la menor duración de la estación de recarga y la menor retención de agua en forma de nieve. Si bien el aumento de las lluvias invernales puede, en principio, favorecer un mayor almacenamiento, la saturación del suelo aumenta la escorrentía superficial y disminuye la infiltración (Eckhardt y Ulbrich, 2003). En el Reino Unido, por ejemplo, se estima una pérdida de recarga del 5-15% debido principalmente al acortamiento del período de recarga invernal (AEMA, 2009). En las áreas costeras, especialmente en el sur de Europa, donde la presión de la demanda de agua es ya muy alta debido a la agricultura y el turismo, la disminución de la disponibilidad de aguas superficiales durante los períodos secos y la disminución de la recarga de los acuíferos aumenta considerablemente la presión sobre éstos. Muchos acuíferos son ya objeto de grandes extracciones y están siendo sobreexplotados, y algunos dejarán de ser aptos para el consumo humano debido a la intrusión salina provocada por la elevación relativa del nivel del mar (AEMA, 2009).

#### **4.3. LA FUTURA DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN LA CUENCA DEL PAS**

A partir de lo analizado hasta ahora, parece que no resulta descabellado, afirmar que la disponibilidad hídrica en la cuenca del Pas se verá seriamente afectada por el cambio climático, y agravada por las demandas de la población. El cambio climático va a generar una disminución de los caudales, pero al mismo tiempo va a provocar una elevación del nivel del mar, por lo que las aguas marinas se van a introducir más en el continente, pudiendo reducir la disponibilidad hídrica por la intrusión marina en los acuíferos costeros:

la masa de agua dulce se encuentra por encima del agua del mar, la cual es más densa y se introduce a modo de cuña, produciendo la mezcla. Con su explotación, la cuña de agua salina se introduce cada vez más hacia el continente, salinizándolos (Yanguas, 2011; Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2014).

Por otro lado la disminución de caudales de agua dulce, por la alteración del régimen de precipitaciones, produce un mayor avance en la desembocadura fluvial de la cuña salina, que aumenta la salinidad de las aguas del río. Junto con esto, la acción humana, que mediante la masiva extracción de agua y las regulaciones del caudal de los ríos, contribuye también a la alteración del equilibrio de agua dulce y salada (Losada, Izaguirre y Diaz Simal, 2014).

En España el 60% de los acuíferos costeros se ven contaminados por la intrusión marina. Esta salinización es consecuencia de una gestión deficiente y de una sobreexplotación, para ello se ha de garantizar el caudal de recarga pudiéndose realizar una recarga artificial de los acuíferos que frene el avance del agua salada (UNIVERSIA, 2007).

Las temperaturas serán más elevadas, y el aumento población, sumado a la presión ejercida por el turismo incrementará la demanda de recursos hídricos en particular en ciertos periodos del año. Las aguas subterráneas se sobreexplotaran, y la intrusión marina irá en aumento. En 1999 la intrusión marina se da en 10 de 12 países en los que se sobreexplotan las aguas subterráneas. En Europa hay más de 100 zonas afectadas por la intrusión salina, de las que sólo en 16 zonas está causada por el ascenso de agua muy mineralizada (Figura 20) (AEMA, 2008).

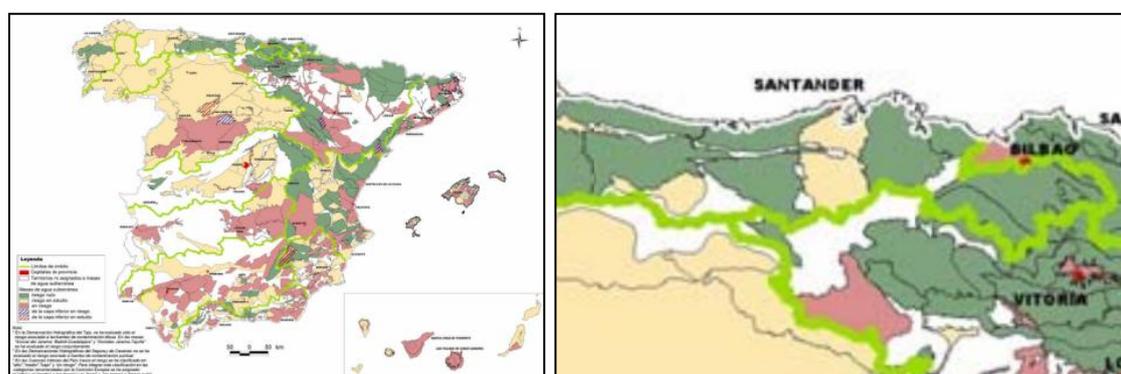
Figura 20: Intrusiones salinas en las aguas subterráneas en Europa (1999)



Fuente: AEMA, 2008: 17.

El riesgo al que pueden estar sometidas las aguas subterráneas del área Santander-Camargo, está en proceso de estudio, puesto aún no se dispone de información suficiente para saber si alcanzarán los objetivos medioambientales recogidos en el artículo 4 de la DMA (Figura 21) (MMA, 2006). Si bien no parece planteada la contaminación por la intrusión salina, esto es un hecho que se está produciendo ya en otros países de la Europa atlántica., fundamentalmente por la sobreexplotación del recurso.

Figura 21: Valoración del Riesgo de las Aguas Subterráneas en Cantabria



Fuente: MMA, 2006b.

Las evidencias de esta sobreexplotación son ya manifiestas en la cuenca del Pas, pues se produce ya importantes situaciones de estiaje, en particular en los meses de verano, donde la extracción produce la reducción de la disponibilidad hídrica y con ello comprometiendo

los caudales ecológicos. Como ya se ha comentado, esta ha sido una de las razones argumentadas para la puesta en marcha de nuevas obras de infraestructura de abastecimiento. Ya a mediados de los años ochenta se realizaron sondeos de explotación en la zona de Toranzo para conseguir disponer de caudales en épocas críticas, tras el severo estiaje que se produjo en 1989.

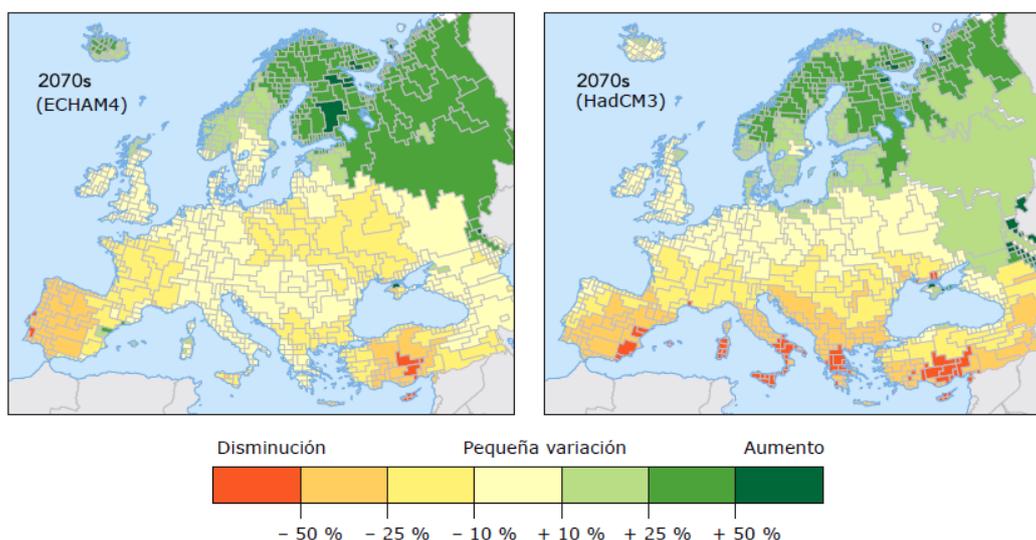
La extracción de agua ha agudizado también un riesgo que cada vez adquiere una mayor dimensión: son los denominados “soplaos” de Camargo. El origen de las subsidencias y colapsos se remonta a comienzos del siglo XX cuando la actividad minera precisó extraer agua del subsuelo para las labores de lavado del mineral, pero enseguida tuvieron que desistir pues se producían numerosos hundimientos en el terreno. La situación se ha agravado en los últimos años, por la demanda urbana. Los informes elaborados por diversos organismos no dudan en relacionar estos procesos con la extracción de agua en la zona.

## 5. RECURSOS Y DEMANDA: ¿EL RETO DE UN FUTURO MUY PRÓXIMO?

La población urbana está creciendo, en dos décadas el 60% de la población mundial vivirá en zonas urbanas, este crecimiento urbano impulsa el desarrollo económico generando grandes demandas de recursos, como es el caso del agua. La distribución del agua en el planeta es desigual, por lo que muchos países sufren carencias a la hora de abastecer los hogares. Con el crecimiento de la población y de la demanda de agua aparece el desafío de lograr la gestión y uso eficiente de este bien tan preciado (ONU, 2011; Leiva, 2016).

Los modelos de cambio climático (Figura 22) pronostican un aumento de las sequias, tanto en frecuencia como en intensidad, agravando el aumento de la demanda de agua por las altas temperaturas (AEMA, 2009).

Figura 22: Predicción de estrés hídrico en función de la relación entre la extracción y la disponibilidad de agua en 2030



**Nota:** Se prevé que las medias estacionales variarán más que las medias anuales en algunas regiones.

Fuente: AEMA, 2009:12.

En la cuenca del Pas la disponibilidad del agua va en descenso, debido a dos aspectos fundamentales, el aumento de la población, concentrada fundamentalmente en la zona costera, y los efectos del cambio climático, ya que, con el aumento de las temperaturas aumenta la evapotranspiración potencial, haciendo que el agua que llega al cauce sea

menor, y si a esto se le suma el descenso en las precipitaciones, el caudal que presentará el río será inferior al actual.

Las aguas del Pas se encuentran en gran parte encauzadas (Gobierno de Cantabria, 2006), con un discutido efecto beneficioso desde hace mucho tiempo, antes incluso que se ejecutase el del valle de Toranzo. Su impacto en la dinámica fluvial cuestiona, incluso, su eficiencia en el tramo afectado: al rebajar la pendiente aumenta la sedimentación, el nuevo cauce se va colmatando y, por tanto, disminuye la sección de desagüe. Este proceso es fácilmente observable ya en el Pas: el relleno del canal ha hecho que los denominados “saltos de pérdida de energía” construidos en el proyecto, con una altura de 0,5 m, hayan desaparecido prácticamente.

Las consecuencias aguas arriba y abajo del mismo tampoco son despreciables, modificando no sólo las tasas de erosión y sedimentación sino también los ecosistemas acuáticos, vegetación de ribera... Arteaga Cardineau afirma que el encauzamiento es uno de los factores que ha contribuido al desmantelamiento del sistema dunar de Liencres, pues:

*“El estudio sedimentológico y mineralógico de las arenas [...] ha demostrado cómo el sistema dunar es alimentado, esencialmente, por los aportes fluviales del río Pas... Los cuarzos [...] proceden, principalmente, de la cuenca media del río donde existe una amplia llanura aluvial de arenas silíceas procedentes del desmantelamiento erosivo de las areniscas que afloran en sus vertientes...”*  
(Arteaga, 2008; 547-548).

El déficit de sedimentos está relacionado tanto con la obra, que tuvo ya un efecto importante porque, según detalla el proyecto, el volumen de áridos extraídos del cauce fue de más de 670.000 m<sup>3</sup>, como en la posterior modificación que ha introducido en la dinámica fluvial y que ha favorecido su retención en el tramo encauzado. Este autor examina, además, el efecto de las extracciones de agua para el abastecimiento del municipio de Santander. El descenso de aportes se intensifica porque la ampliación de los sondeos de explotación en la zona de Toranzo, como ya se ha comentado, da lugar a que apenas haya “... agua sobre el lecho del río, llegando a desaparecer, incluso, en ciertos

*tramos, donde actúan importantes procesos de infiltración kárstica” (Arteaga, 2008; 547-548), situación especialmente grave, en los meses de verano.*

Podemos afirmar, en definitiva, que la ocupación progresiva de la llanura de inundación incrementa el riesgo de avenidas, pero, además, ejerce una continua y mayor presión sobre los recursos hídricos: a mayor población, más demanda, más extracciones... y ello compromete, también, su disponibilidad.

La disponibilidad del agua se está convirtiendo en un reto, sobre todo por el crecimiento costero de núcleos urbanos y el aumento de la agricultura intensiva. El posible riesgo de que los acuíferos se salinicen cada vez es mayor por el excesivo consumo de agua, que ya está afectando a las costas mediterráneas. Además, con el ascenso del nivel del mar habrá una mayor presión en los acuíferos, debida a la intrusión marina. Al mismo tiempo, el ascenso del nivel del mar también generara un desafío para los asentamientos y actividades costeras. Al mismo tiempo, mencionar que el desarrollo del turismo costero lleva al aumento de la demanda de agua, sobre todo en la época estival, agravando la escasez (AEMA, 2008: 49).

Por su parte, el PGAS hace una estimación, para el año 2040, del crecimiento poblacional de la región por municipios. Observando los municipios de la cuenca, más los que abastece, se prevé un aumento de casi 80.000 habitantes, acentuándose en Piélagos y Santa María de Cayón, que se prevé que sobrepasen el doble de su población actual, pero sobre todo la población se incrementará en Castañeda donde se prevé que la población aumente más de 3,5 veces la actual. Así mismo, este documento recoge una síntesis del Plan Pas, que es un plan para abastecer a los municipios de Polanco, Puente Viesgo, Castañeda, Piélagos y Miengo, a este último en verano no lo abastece, puesto que utiliza la captación municipal. Además, muestra la conexión del Plan con la Autovía del agua y con el Plan Esles.

Entre las consideraciones tomadas por el PGAS no aparecen previsiones futuras de una reducción de la disponibilidad hídrica por el cambio climático. Resulta incomprensible que el Gobierno regional este pagando por informes de evaluación del cambio climático y sus efectos sobre la disponibilidad hídrica, y no los utilice a la hora de redactar este tipo de

planes. Como ya se ha comentado, el descenso de la disponibilidad, por la disminución de los aportes derivados de las precipitaciones, será entre una cuarta y una quinta parte, según los escenarios...un volumen suficientemente importante como para ser tenido en cuenta.

En la evaluación de la demanda se tiene en cuenta únicamente el crecimiento de la población (Tabla 4) y la *gran capacidad de transporte y versatilidad* de las infraestructuras generales de conexión, como son la Autovía del Agua y el Bitrasvase Ebro-Besaya-Pas, que “*proporcionan al sistema en su conjunto una gran capacidad de transporte y una versatilidad tal que permitiría absorber crecimientos futuros mayores a los previstos en distintas zonas, o nuevas necesidades que surjan de la planificación urbanística o territorial o de la actividad industrial futura*” (PGAS, 2015: 55).

*Tabla 4: Demanda media diaria actual y futura (en m<sup>3</sup>/día), por sistemas de abastecimiento*

<b>Sistema de abastecimiento</b>	<b>Situación actual</b>	<b>Horizonte 2020</b>	<b>Horizonte 2040</b>
Plan Pas	10.355,90	12.165,70	18.592,10
<b>Total planes hidráulicos</b>	<b>95.786,10</b>	<b>103.448,70</b>	<b>123.647,30</b>
Sistema Santander	59.122,30	66.406,50	71.278,30
<b>Total Cantabria</b>	<b>202.274,80</b>	<b>219.054,20</b>	<b>247.990,60</b>

Fuente: PGAS, 2015: 55

Se podría calificar esta filosofía política como arcaica, desvinculada totalmente de los avances en temas de gestión hídrica,

*“Ante el cambio climático se perfilan como importantes y necesarias las investigaciones tendentes a mejorar las previsiones de precipitaciones y temperaturas y su distribución espacial y temporal, las tendentes a definir métodos de generación de series de datos climáticos basadas en los escenarios, las que propicien mejores y más fiables métodos de evaluación de evaporaciones y evapotranspiraciones, juego de agua en el suelo, interceptación y reserva de agua utilizable por las plantas, las destinadas a conocer con mas fiabilidad la recarga de acuíferos y el desarrollo de modelos para automatización de cálculo de aportaciones y modelos de gestión en cuencas” (Moreno, 2005: ).*

En esencia el cambio climático dará lugar a una disminución de las aportaciones hídricas y un aumento de la demanda, pero “... *el impacto real dependerá del sistema de recursos hidráulicos disponible y de la manera de manejar el sistema*”. Una gestión adecuada de la demanda permite “... *la corrección o adecuación del impacto causado*” (Iglesias, Estrela y Gallart, 2005: 309).

En esencia el cambio climático dará lugar a una disminución de las aportaciones hídricas y un aumento de la demanda, pero “... *el impacto real dependerá del sistema de recursos hidráulicos disponible y de la manera de manejar el sistema*”. Una gestión adecuada de la demanda permite “... *la corrección o adecuación del impacto causado*” (Iglesias, Estrela y Gallart, 2005: 309).

La disponibilidad hídrica en la cuenca del Pas, en un futuro no muy lejano, se convertirá en un reto y se buscarán soluciones para el abastecimiento, entre las que pueden reaparecer antiguas alternativas propuestas ya en el siglo XIX, como fue el denominado proyecto Normandy (presentado en 1880), en el que se planteaba la obtención de agua dulce a partir de agua de mar. El proceso permitía conseguir unos 10.784 litros diarios de agua destilada. La Corporación archivó el proyecto porque, existía el temor de que la población rechazase consumir este tipo de agua y “... *por considerarlo excesivamente costoso para la época y de dudosa aplicación por lo novedoso de su tecnología*” (González Cañibano, 2004; 15). La desalinización posee la gran ventaja de que se convierte el agua de mar en potable, pero no todo es bueno, las desalinizadoras poseen un gran inconveniente, el gran consumo energético que necesitan.

Otra de las alternativas planteadas, ya más recientemente (años setenta-ochenta), fue la construcción de un embalse en el alto Pas, que anegaría terrenos y suponía acabar con el modo de vida de los pasiegos (la trashumancia) y un gran coste ecológico, dejando a la zona sin comunicación con la provincia de Burgos. La alternativa fue desestimada en 1987 y con ella se propusieron otras alternativas, como el aprovechamiento de las bolsas de agua subterráneas y el trasvase de aguas del embalse del Ebro, siendo estas las llevadas a cabo más recientemente, pero a día de hoy empiezan a generar de nuevo problemas de disponibilidad hídrica, por lo que se ha de buscar una nueva solución (El País, 1984; 1987).

La alternativa en la que se debe trabajar es la concienciación de la población, ya que nos encontramos en una comunidad con un gran consumo, muy por encima de lo recomendado.

El programa Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities Health (La Gestión Sostenible del Agua Mejora la Salud de las Ciudades del Mañana) (SWITCH) (2006-2011) surgió en respuesta a la problemática ambiental actual relacionada con el manejo del recurso hídrico en áreas urbanas. El proyecto SWITCH se llevó a cabo durante cinco años, fue un experimento que se concentró en algunos de los desafíos clave para la sostenibilidad de la gestión del recurso hídrico en áreas urbanas. En varias ciudades de diferentes países, se propuso evaluar lo que se requería para lograr una transición hacia una gestión más sostenible del recurso hídrico urbano, combinando actividades de demostración e investigación basadas en las necesidades, aprendizaje participativo multilateral y la capacitación y el desarrollo de capacidades.

El proyecto SWITCH invitó a un cambio de paradigma en el manejo del agua en áreas urbanas a través del desarrollo, aplicación y demostración de soluciones de tipo científico, tecnológico y socioeconómico, considerando un enfoque integral en la gestión del recurso hídrico para la "ciudad del futuro" con una proyección entre 30 a 50 años. El enfoque estratégico del proyecto se fundamentó en los principios de producción más limpia, con una comprensión de las limitaciones actuales, y de la vulnerabilidad de los sistemas convencionales de manejo del agua en áreas urbanas. Este enfoque fue el eje de las acciones de investigación y desarrollo tecnológico, las actividades de demostración, de formación de capacidades, todas ellas interactuando para lograr el cambio de paradigma a través de las alianzas de aprendizaje.

Un buen ejemplo de la concienciación de la población es el llevado a cabo en el área metropolitana de Barcelona, por Aigües de Barcelona. Desde el año 2001 hasta 2014 han conseguido que el consumo por habitante y día descienda desde los casi 130 hasta los 101 l/hab/día, siendo hoy uno de los núcleos metropolitanos que menos agua por habitante consume en Europa (Aigües de Barcelona, 2017).

## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES**

- 20 minutos (2016). *Cantabria completa la Autovía del Agua, una tubería de 145 kilómetros desde Unquera a Castro*. 20 minutos, Europa Press, Edición España, Cantabria, Camargo. Edición Digital, 9 de noviembre. Disponible, en junio de 2017 en: <http://www.20minutos.es/noticia/2883690/0/cantabria-completa-autovia-agua-tuberia-145-kilometros-desde-unquera-castro/>
- AEMA (2008). *Evolución de las zonas costeras en Europa*. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Medio Rural y Marino. Disponible en junio de 2017, en: [http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europea-medio-ambiente-informacion-ambiental/Evolucion\\_tcm7-1884.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europea-medio-ambiente-informacion-ambiental/Evolucion_tcm7-1884.pdf)
- AEMA (2009). *Cambio climático y adaptación de los recursos hídricos*. Ministerio de Medio Ambiente Rural y Medio Rural y Marino. Disponible en junio de 2017, en: [http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europea-medio-ambiente-informacion-ambiental/cambioclimaticoadaptacionrecursoshidricos\\_tcm7-1874.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/agencia-europea-medio-ambiente-informacion-ambiental/cambioclimaticoadaptacionrecursoshidricos_tcm7-1874.pdf)
- Aigües de Barcelona (2017). *Consumo de agua*. Barcelona: Aigües de Barcelona, Empresa Metropolitana de Gestió del Cicle Integral de l'Aigua, S.A. Disponible, en junio de 2017, en: <http://www.aiguesdebarcelona.cat/el-consumo-de-agua>
- Ancell Trueba, R. y Célis Díaz, R. (2013). *Termopluiometría de Cantabria durante el periodo 1981-2010*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), Nota Técnica, nº 10. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/publicaciones/NT\\_10\\_AEMET/NT\\_10\\_AEMET.pdf](http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/publicaciones/NT_10_AEMET/NT_10_AEMET.pdf)
- AQUALIA (2015). *Ciclo del Agua. Abastecimiento*. Aqualia, Servicio Municipal de Aguas de Santander. Disponible, en junio de 2017 en: <http://www.aqualia.com/es/web/aqualia-santander/ciclo-del-agua/captacion>
- Arteaga Cardineau, C. (2008). *Características geomorfológicas del estuario de río Pas (Cantabria): alteraciones recientes de sus dinámicas y problemática actual ante los efectos de las inundaciones y de las fluctuaciones del nivel del mar provocadas por el cambio climático*. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Geografía, Tesis Doctoral.
- Bates, B.C.; Kundzewicz, Z.W.; Wu, S. y Palutikof, J.P. (Eds.) (2008). *El Cambio Climático y el Agua*. Documento Técnico VI del IPCC. Ginebra: OMN; PNUMA. Disponible, en junio de 2017, en: <http://www.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp.pdf>
- CHC (2017). *Las cuencas cantábricas: Río Pas*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Cantábrico (CHC), DHC Occidental.

- Disponible, en junio de 2017, en: <https://www.chcantabrico.es/index.php/es/las-cuencas-cantabricas/marcofisico/recursoshidricos/rios/rios-occ/1870-rio-pas>
- Climate-Data (2017). *Clima: Puente Viesgo (Cantabria, España)*. Climate-Data.Org, Datos climáticos mundiales Disponible, en junio de 2017, en: <https://es.climate-data.org/search/?q=Puente+Viesgo>
- CMA (2005). *Estudio de los Recursos Hídricos de los Ríos de la vertiente Norte de Cantabria. Cuenca del río Pas*. Gobierno de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente, Plan de Investigación Integral para la Caracterización y Diagnóstico Ambiental de los Sistemas Acuáticos de Cantabria.
- CMA (2012). *Caracterización de la cuenca del Pas*. Gobierno de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente, Directiva Marco del Agua de Cantabria. Disponible, en junio de 2017, en: <http://dmacantabria.cantabria.es/visorWeb/ficha.html?idficha=11>
- CMA (2013). Usos del agua: el abastecimiento de agua a Cantabria. Gobierno de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente, Directiva Marco del Agua. Disponible, en octubre de 2013, en: [http://dma.medioambientecantabria.es/ usos\\_del\\_agua.htm](http://dma.medioambientecantabria.es/ usos_del_agua.htm)
- Diario Montañés (2016). *Un sistema llamado Bitrasvase*. Santander: Diaro Montañés, Álvaro Machin, Cantabria, Santander. Edición digital, 27 de diciembre, 21:11 horas. Disponible, en junio de 2017, en: <http://www.eldiariomontanes.es/santander/201612/27/sistema-llamado-bitrasvase-20161227190031.html>
- Duomarco [años sesenta]. *Santander, Cuesta de la Atalaya, 1900*. Duomarco, Reproducción fotográfica.
- Eckhardt, K. and Ulbrich, U. (2003). Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range. *Journal of Hydrology*, 284 (1): 244-252. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2003.08.005](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.08.005)
- El País (1984). *El embalse del Pas, un crimen ecológico*. Madrid: El País, Esperanza Martínez Conde, Sociedad, Tribuna Libre. Edición impresa, 12 de julio. Disponible, en junio de 2017, en: [http://elpais.com/diario/1984/07/12/sociedad/458431209\\_850215.html](http://elpais.com/diario/1984/07/12/sociedad/458431209_850215.html)
- El País (1987). *La Asamblea de Cantabria rechaza la construcción de la presa sobre el Pas*. Madrid: El País, Jesús Delgado, España. Edición impresa, 5 de diciembre. Disponible en junio de 2017 en: [http://elpais.com/diario/1987/12/05/espana/565657224\\_850215.html](http://elpais.com/diario/1987/12/05/espana/565657224_850215.html)
- Europa (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva Marco del Agua)*.Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 22 diciembre, nº 327. Disponible, en junio de 2017, en: <https://www.boe.es/doue/2000/327/L00001-00073.pdf>
- Europa Press (2016). *Cantabria "no puede devolver" el agua que capta del Ebro y pide una solución a Ministerio*. Madrid: Europa Press, Cantabria, Sostenible. Edición digital, 28

- diciembre, 14:53 horas. Disponible en junio de 2017 en: <http://www.europapress.es/cantabria/cantabria-sostenible-00437/noticia-cantabria-no-puede-devolver-agua-capta-ebro-pide-solucion-ministerio-20161228145319.html>
- Europa Press. (2017). Cantabria pide al Estado cofinanciación para acabar conexión de Autovía del Agua. Madrid: Europa Press, Cantabria. Edición digital, 23 de mayo, 14:49 horas. Disponible, en junio de 2017, en: <http://www.europapress.es/cantabria/noticia-cantabria-pide-estado-cofinanciacion-acabar-conexion-autovia-agua-santander-20170523144247.html>
- Garmendia Pedraja, C. (2013). Recursos hídricos en la cuenca del río Pas: aprovechamientos, impactos y riesgos. García Codron, J.C. y Pacheco, S. *Las montañas de La Montaña*. XXVIII Jornadas de Campo del Grupo de Geografía Física de la Asociación de Geógrafos Españoles (A.G.E.), Cantabria, 2-5 julio, pp. 200-215.
- Gobierno de Cantabria (2006). *Plan de Investigación Integral para la Caracterización y Diagnóstico Ambiental de los Sistemas Acuáticos de Cantabria*. Documento I: Sistemas Fluviales. Gobierno de Cantabria; Universidad de Cantabria. Disponible, en mayo de 2017, en: [http://dmacantabria.cantabria.es/informacion/Documentos/IMPRESS\\_AguasContinetales.pdf](http://dmacantabria.cantabria.es/informacion/Documentos/IMPRESS_AguasContinetales.pdf)
- Gobierno de Cantabria (2007). Dos grandes obras para el abastecimiento de agua a Cantabria: el Bitrasvase y la Autovía del Agua. En: *Las rutas del Agua por Cantabria*. Gobierno de Cantabria, Vicepresidencia, Consejería de Medio Ambiente. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.medioambientecantabria.es/documentos\\_contenidos/21282\\_1.guia\\_rutasagua\\_2.pdf](http://www.medioambientecantabria.es/documentos_contenidos/21282_1.guia_rutasagua_2.pdf)
- González Cañibano, M. (2007). *Historia del abastecimiento de agua a la ciudad de Santander, 1961-2007*. Santander: Ayuntamiento de Santander; Aqualia.
- Gutiérrez, J.M.; Herrera, S.; San-Martín, D.; Sordo, C.; Rodríguez, J.J.; Frochoso, M.; Ancell, R.; Fernández, J.; Cofiño, A.S.; Pons, M.R. y Rodríguez, M.A. (2010). Escenarios Regionales Probabilísticos de Cambio Climático en Cantabria: Termopluiometría. Santander: Gobierno de Cantabria; Universidad de Cantabria. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.meteo.unican.es/files/projects/escenariosCantabria/ClimaCantabria\\_Informe.pdf](http://www.meteo.unican.es/files/projects/escenariosCantabria/ClimaCantabria_Informe.pdf)
- Howard, G. and Bartram, J. (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. Geneva (Switzerland): World Health Organization, WHO/SDE/WSH/03.02. Disponible, en junio de 2017, en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67884/1/WHO\\_SDE\\_WSH\\_03.02.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/67884/1/WHO_SDE_WSH_03.02.pdf)
- ICANE (2017). *Explotación Estadística. Padrón Municipal de Habitantes. Cantabria 2016*. Instituto Cántabro de Estadística (ICANE), Publicaciones Demográficas. Disponible, en junio de 2017, en: <http://www.icane.es/publications>
- Iglesias, A.; Estrela, T. y Gallart, F. (2005). Impactos sobre los recursos hídricos. Moreno Rodríguez, J.M. (Dir./Coord.). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático, Proyecto ECCE, Informe final, Capítulo 7. Disponible, en junio de 2017, en:

[http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/07\\_recursos\\_hidricos\\_2\\_tcm7-12423.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/07_recursos_hidricos_2_tcm7-12423.pdf)

- IGME (2010). *Encomienda de gestión para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. Demarcación Hidrográfica 016 Cantábrico. Masa de agua subterránea 016.209 Santander-Camargo*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Dirección General del Agua, Actividad 4.
- INE (1998-2016). *Encuestas del Agua / Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua*. Instituto Nacional de Estadística, Notas de prensa.
- Leiva, E. (2016). *Crecimiento urbano y la necesidad de gestión y uso eficiente del agua*. Universidad Católica de Chile, Centro de Desarrollo Urbano Sustentable (CEDEUS). Disponible, en junio de 2017 en: <http://www.cedeus.cl/blog/crecimiento-urbano-y-la-necesidad-de-gestion-y-uso-eficiente-del-agua/>
- Losada Rodríguez, I.; Izaguirre Lasa, C.; Diaz Simal, P. (2014). *Cambio Climático en la Costa Española*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), Documento Resumen. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014\\_INFORME\\_C3E\\_final\\_tcm7-352338.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/2014_INFORME_C3E_final_tcm7-352338.pdf)
- Losada Rodríguez, I.; Izaguirre Lasa, C.; Diaz Simal, P. (2015). *Asistencia técnica a la elaboración de un estudio sobre la adaptación al cambio climático de la costa del Principado de Asturias*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; Gobierno del Principado de Asturias, Actividad 4. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.mapama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/informe\\_final\\_act\\_2\\_asturias\\_tcm7-431614.pdf](http://www.mapama.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/informe_final_act_2_asturias_tcm7-431614.pdf)
- MMA (2006a). *Documento Abierto para el Proceso Participativo. Directiva Marco del Agua en Cantabria. Cuenca del Pas-Pisueña*. Ministerio de Medio Ambiente; Gobierno de Cantabria, Versión 1.1. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.medioambientecantabria.es/documentos\\_contenidos/24173\\_1.PAS.pdf](http://www.medioambientecantabria.es/documentos_contenidos/24173_1.PAS.pdf)
- MMA (2006b). *Síntesis de la información remitida por España para dar cumplimiento a los Artículos 5 y 6 de la Directiva Marco del Agua, en materia de aguas subterráneas. Memoria*. Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General del Agua. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.aguasgran Canaria.com/ciagcweb/directivamarco.nsf/ed7d80e62e5c0d4680257398002fd43b/487a10e5583d593c802572c70049b9ba/\\$FILE/MEMORIA.pdf](http://www.aguasgran Canaria.com/ciagcweb/directivamarco.nsf/ed7d80e62e5c0d4680257398002fd43b/487a10e5583d593c802572c70049b9ba/$FILE/MEMORIA.pdf)
- Moreno Rodríguez, J.M. (Dir./Coord.) (2005). *Principales Conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Moreno Rodríguez, J.M. (Dir./Coord.) *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático,

- Proyecto ECCE, Informe final. Disponible, en junio de 2017, en: <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/evaluacion-preliminar-impactos-completo-2-tcm7-12439.pdf>
- ONU (2011). *Agua y Urbanización*. ONU, Programa de ONU-Agua para la Promoción y la Comunicación en el marco del Decenio, Nota para los medios.
- PGAS (2015). *Plan General de Abastecimiento y Saneamiento de Cantabria*. Gobierno de Cantabria, Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Urbanismo. Disponible, en junio de 2017, en: [http://medioambientecantabria.es/ia-agua/ampliar.php?Id\\_contenido=64173&Ficha=1](http://medioambientecantabria.es/ia-agua/ampliar.php?Id_contenido=64173&Ficha=1)
- Ramos, A.I. (2011). Garantizar el abastecimiento de agua a Cantabria y mantener el nivel ecológico óptimo de nuestros ríos, objetivos de la obra del bitrasvase del Ebro. *VII Congreso Ibérico sobre Gestión y Planificación del Agua "Ríos Ibéricos +10. Mirando al futuro tras 10 años de DMA"*, Talavera de la Reina, 16-19 de febrero. Disponible, en junio de 2017, en: <https://fnca.eu/images/documentos/VII%20C.IBERICO/Comunicaciones/A5/08-Ramos.pdf>
- Rasilla Álvarez, D. (2013). La evolución reciente de las variaciones del nivel del mar en la costa cantábrica. García Codron, J.C. y Pacheco, S. *Las montañas de La Montaña*. XXVIII Jornadas de Campo del Grupo de Geografía Física de la Asociación de Geógrafos Españoles (A.G.E.), Cantabria, 2-5 julio, pp. 64-77.
- Rivas, V. (2000). Clima y nivel del mar: reconstrucción de las posiciones marinas cuaternarias a través de las evidencias en el Litoral Cantábrico. García Codron, J. (Coord.). *La reconstrucción del clima de época preinstrumental*. Santander: Universidad de Cantabria, pp. 179-212.
- Stahler, A. (1987). *Geología Física*. Barcelona: Omega.
- SWITCH (2011). *Adapting Urban Water Systems to Climate Change. A handbook for decision makers at the local level*. Freiburg (Germany): European Secretariat GmbH. Disponible, en junio de 2017, en: [https://luk.staff.ugm.ac.id/SWITCH\\_Adaption-Handbook\\_final\\_small.pdf](https://luk.staff.ugm.ac.id/SWITCH_Adaption-Handbook_final_small.pdf)
- Tyndal Centre (2003). *TYN SC 1.0*. Tyndal Centre for Climate Change Research (Dr. Tim Mitchell). Disponible, en junio de 2017, en: [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/timm/grid/TYN\\_SC\\_1\\_0.html](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/timm/grid/TYN_SC_1_0.html)
- UNEP (2012). *The UN-Water Status Report on the Application of Integrated Approaches to Water Resources Management*. United Nations Environment Programme. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.unwater.org/app/uploads/2017/05/UNW\\_status\\_report\\_Rio2012.pdf](http://www.unwater.org/app/uploads/2017/05/UNW_status_report_Rio2012.pdf)
- UNIVERSIA (2007). La intrusión marina es la primera causa de contaminación de los acuíferos costeros. Universia, Noticias, Educación. Edición digital, 11 de julio. Disponible, en junio de 2017, en: <http://noticias.universia.es/ciencia-nn-tt/noticia/2007/07/11/591542/intrusion-marina-es-primera-causa-contaminacion-acuiferos-costeros.html>

- Uriarte Cantolla, U. (2010). *Historia del Clima de la Tierra*. Biblioteca Electrónica de Geminis Papeles de Salud. Disponible, en junio de 2017, en: [http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/historia del clima de la tierra anton uriarte.pdf](http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/historia_del_clima_de_la_tierra_anton_uriarte.pdf)
- Vive Campoo (2016). Cantabria elaborará un estudio para justificar la no devolución del agua del Bitrasvase. Campoo: Vive Campoo, Actualidad, Cantabria. Edición digital, 28 de diciembre. Disponible en junio de 2017 en: <http://www.vivecampoo.es/noticia/cantabria-elaborara-estudio-justificar-no-devolucion-agua-bitrasvase-10880.html>
- Yanguas Montero, G. (Dir.) (2012). *Perfil ambiental de España 2011. Informe basado en indicadores*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible, en junio de 2017, en: [http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua\\_documento/Perfil Ambiental 2011\\_tcm7-219270.pdf](http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/hispagua_documento/Perfil_Ambiental_2011_tcm7-219270.pdf)

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Efectos potenciales del cambio climático en las ciudades.....	6
Figura 2: Área de Estudio.....	9
Figura 3: Climograma de Puente Viesgo .....	11
Figura 4: Régimen del Río Pas, 1969-2003 .....	11
Figura 5: Caudales medios anuales del Río Pas, 1970-2003.....	12
Figura 6: Sistema de agua subterránea que abastece a Santander-Camargo .....	13
Figura 7: Cobertura vegetal en la cuenca del Pas.....	13
Figura 8: Mapa de densidad de población por municipios, 2016.....	15
Figura 9: Acarreando agua en una herrada, por la cuesta de La Atalaya en 1900 .....	15
Figura 10: Mapa del Sistema de Abastecimiento de Agua a Cantabria: la Autovía del Agua.....	17
Figura 11: El Gobierno de Cantabria quiere convertir el bitrasvase en trasvase.....	19
Figura 12: Evolución del consumo de agua para el abastecimiento urbano.....	22
Figura 13: Evolución del precio (€/m <sup>3</sup> ) y el consumo de agua (l/hab/día).....	23
Figura 14: Proyecciones de temperatura y precipitación para finales de siglo del IPCC-AR4.....	25
Figura 15: Cambios en la precipitación anual acumulada media e incertidumbre asociada .....	27
Figura 16: Cambios en la temperatura mínima anual media e incertidumbre para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	28
Figura 17: Cambios en la temperatura máxima anual media e incertidumbre .....	28
Figura 18: Densidad de la población en zonas costeras europeas .....	30
Figura 19: Aumento del Nivel Medio del Mar (m) a fin de siglo en el litoral asturiano.....	33
Figura 20: Intrusiones salinas en las aguas subterráneas en Europa (1999).....	36
Figura 21: Valoración del Riesgo de las Aguas Subterráneas en Cantabria .....	36
Figura 22: Predicción de estrés hídrico en función de la relación.....	38
Tabla 1: Temperaturas Vega de Pas (°C), según el modelo TYN SC 1.0 (ATEAM Proyect) .....	26
Tabla 2: Precipitaciones Vega de Pas (mm), según el modelo TYN SC 1.0 (ATEAM Proyect) ....	27
Tabla 3: Balance Hídrico Vega de Pas (mm), según el modelo TYN SC 1.0 (ATEAM Proyect)...	29
Tabla 4: Demanda media diaria actual y futura (en m <sup>3</sup> /día), por sistemas de abastecimiento .....	41