



Tecnología y Ciencias del Agua

ISSN: 0187-8336

revista.tyca@gmail.com

Instituto Mexicano de Tecnología del  
Agua  
México

Senent-Aparicio, Javier; Pérez-Sánchez, Julio; Bielsa-Artero, Alicia María  
Evaluación de la sostenibilidad de cuencas mediterráneas semiáridas. Caso de estudio:  
cuena del Segura, España  
Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VII, núm. 2, marzo-abril, 2016, pp. 67-84  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua  
Morelos, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353545556005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# Evaluación de la sostenibilidad de cuencas mediterráneas semiáridas. Caso de estudio: cuenca del Segura, España

• Javier Senent-Aparicio\* • Julio Pérez-Sánchez • Alicia María Bielsa-Artero •  
*Universidad Católica San Antonio de Murcia, España*

\*Autor de correspondencia

## Resumen

Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J., & Bielsa-Artero, A. M. (marzo-abril, 2016). Evaluación de la sostenibilidad de cuencas mediterráneas semiáridas. Caso de estudio: cuenca del Segura, España. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(2), 67-84.

Desde la introducción del concepto de desarrollo sostenible en el Informe Brundtland a finales del siglo pasado, numerosos científicos han trabajado en la medición objetiva de la sostenibilidad mediante índices. La aplicación de estos índices a la gestión de los recursos hídricos permite evaluar el estado actual de los mismos y servir como herramienta de ayuda a la toma de decisiones por parte de los organismos competentes. Uno de los índices más utilizados es el Índice de Sostenibilidad de Cuencas. Este índice ha sido aplicado por distintos investigadores en numerosas cuencas a lo largo de todo el mundo, principalmente América Central y Sudamérica. Sin embargo, no se han encontrado referencias sobre su aplicación en Europa. El objetivo de este estudio es la aplicación del Índice de Sostenibilidad de Cuencas en una cuenca mediterránea semiárida, como es la cuenca del Segura (España). Se han adaptado algunos de los indicadores a las características del caso de estudio. La cuenca del Segura se caracteriza por su alto déficit hídrico y por estar sometida a los requisitos exigidos por la Directiva Marco del Agua. Se ha obtenido un valor del índice de sostenibilidad para la cuenca del Segura durante el periodo 2006-2010 de 0.64, lo que equivale a un nivel intermedio de sostenibilidad. La metodología propuesta puede ser utilizada en numerosas cuencas mediterráneas europeas que presentan condiciones hidrológicas, ambientales, sociales y políticas muy similares a las del caso objeto de estudio.

**Palabras clave:** hidrología, cuenca Segura, índice de sostenibilidad, modelo presión-estado-respuesta, gestión integrada de cuencas.

## Abstract

Senent-Aparicio, J., Pérez-Sánchez, J., & Bielsa-Artero, A. M. (March-April, 2016). Assessment of Sustainability in Semiarid Mediterranean Basins: Case Study of the Segura Basin, Spain. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 7(2), 67-84.

Ever since the concept of sustainable development was introduced by the Brundtland Report in the late 1900s, many scientists have worked on objectively measuring sustainability based on indices. The application of these indices to water resource management makes it possible to evaluate the current state of this resource and provides a tool to help decision-makers. One of the most common indices is the Watershed Sustainability Index. This has been applied by various investigators in a large number of basins throughout the world, and particularly in Central and South America. Nevertheless, references to its application in Europe have not been found. The objective of this study was to apply the Watershed Sustainability Index in a semiarid Mediterranean basin, such as the Segura Basin in Spain. Some of the indicators were adapted to the characteristics of the case study. The Segura Basin has a large water deficit and is subject to the requirements stipulated by the Water Framework Directive. A sustainability index of 0.64 was obtained for the Segura Basin during the period 2006-2010, which is equal to an intermediate sustainability level. The methodology proposed can be used for many other European Mediterranean basins with hydrological, environmental, social and political conditions that are very similar to those of the case study.

**Keywords:** Hydrology, Segura basin, sustainability index, pressure-state-response model, integrated watershed management.

---

Recibido: 16/10/2014  
Aceptado: 28/09/2015

---

## Introducción

La Conferencia de Naciones Unidas (ONU) sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo en el año 1972, marca un punto de inflexión en el desarrollo de la política internacional del medio ambiente, pues fue la primera gran conferencia de la ONU sobre cuestiones ambientales internacionales. Años más tarde, a raíz de la celebración de esta conferencia, se publica el denominado Informe Brundtland, donde por primera vez se introduce el concepto de desarrollo sostenible (Brundtland, 1987).

Desde la publicación de este informe, numerosas instituciones y organizaciones han dedicado muchos esfuerzos a la medición objetiva de la sostenibilidad. Un claro ejemplo de tales esfuerzos es el desarrollo de herramientas de evaluación basadas en indicadores de sostenibilidad, lo que se conoce como índices de sostenibilidad. Estos índices, aplicados a los recursos hídricos, permiten identificar todos los factores que contribuyen a la mejora de los recursos hídricos, de modo que esta información se pueda utilizar tanto para dar a conocer el estado actual de los recursos hídricos de una zona a todos los usuarios de la misma, como para ayudar a la toma de decisiones por parte de los organismos competentes en materia de gestión de recursos hídricos (Juwana, Muttill, & Perera, 2012).

En 2005, la UNESCO crea el Programa Hidrológico Internacional (PHI) como un instrumento gracias al cual los estados miembros pretenden mejorar su conocimiento del ciclo hídrico e incrementar su capacidad de administrar y explotar mejor sus recursos hídricos (UNESCO, 2005). Este programa tiene como objetivo la minimización de los riesgos a los que están expuestos los sistemas de recursos hídricos, teniendo en cuenta las exigencias e interacciones sociales y desarrollando métodos que permitan una gestión racional de los recursos hídricos, incluyendo la protección del medio ambiente. Para la consecución de este objetivo era necesaria la aplicación de un índice de sostenibilidad de cuencas que integrará no

solamente cuestiones de carácter meramente hidrológico, sino que también tuviera en consideración los diferentes aspectos socioeconómicos y medioambientales que influyen en la gestión sostenible de los recursos hídricos de una cuenca (Chaves & Alipaz, 2007). Todos estos aspectos quedan integrados dentro del Índice de Sostenibilidad de Cuencas o Watershed Sustainability Index (WSI), seleccionado por la UNESCO para su PHI.

Tal y como se puede observar en la bibliografía consultada, el WSI ha sido aplicado por distintos investigadores en numerosas cuencas a lo largo de todo el mundo, principalmente en América Central y Sudamérica (Chaves, 2009; Catano, Marchand, Staley, & Wang, 2009; Cortés et al., 2012; Preciado-Jiménez, Aparicio, Güitrón-De-Los-Reyes, & Hidalgo-Toledo, 2013; Elfithri, 2013; Firdaus, Nakagoshi, & Idris, 2014). Sin embargo, este índice no ha sido todavía aplicado en cuencas europeas. El objetivo del trabajo que aquí se presenta es, por un lado, analizar la sostenibilidad de la gestión de los recursos hídricos en una cuenca mediterránea semiárida, y por otro, adaptar los parámetros propuestos por Chaves y Alipaz a las condiciones climáticas y político-sociales que condicionan la gestión de los recursos hídricos en el área de estudio.

## Descripción del área de estudio

La cuenca del río Segura, situada en el sureste de España (figura 1), cuenta con una superficie aproximada de 20 234 km<sup>2</sup> (19 025 km<sup>2</sup>, si se tiene sólo en cuenta la parte continental, excluyendo las aguas costeras) y afecta a cuatro comunidades autónomas: Murcia, Andalucía (provincias de Jaén, Granada y Almería), Castilla-La Mancha (provincia de Albacete) y Valencia (provincia de Alicante). Tal y como se puede observar en la figura 1, a efectos de funcionamiento hidrológico y de acuerdo con lo establecido en el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (PHCS), la cuenca se puede dividir en 14 zonas distintas (CHS, 2013).

La precipitación media anual es de unos 382 mm, que se caracterizan por sus grandes desequilibrios temporales y por un claro contraste

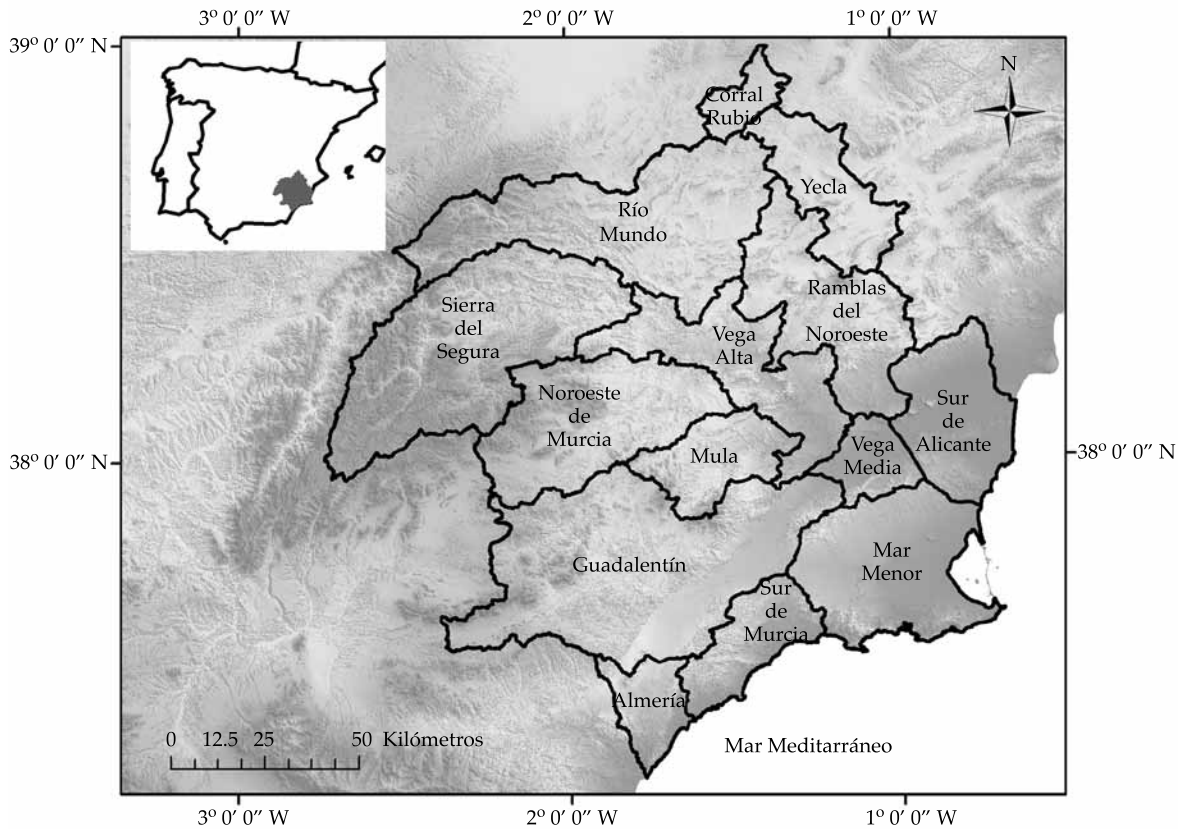


Figura 1. Mapa de situación y definición de zonas hidrológicas.

espacial entre las zonas de cabecera, y las partes medias y bajas de la cuenca. Un rasgo característico respecto a la pluviometría de la cuenca es la existencia de episodios de fuertes lluvias —fenómeno conocido como “gota fría”—, caracterizados por precipitaciones cortas y muy intensas, que provocan grandes avenidas con un marcado carácter torrencial. Este fenómeno tiene lugar en los meses de otoño. Por otro lado, también son frecuentes los episodios de sequías en los meses de verano, con precipitaciones prácticamente nulas, así como los periodos de sequía interanuales.

Al igual que ocurre con el régimen pluviométrico, el térmico está también muy influenciado por la orografía. Como valores extremos, los 10 °C de la isoterma media anual que se presenta en la sierra del Segura, y los 18 °C de temperatura media anual en el Sur de Alicante

y en algunas zonas costeras. Por otro lado, la evapotranspiración potencial media es del orden de 992 mm, mientras que la evapotranspiración real se estima en 339 mm anuales. La escorrentía media total representa un 13% de la precipitación media total, siendo este porcentaje el más bajo de la península ibérica (CHS, 2013).

En las últimas décadas del siglo pasado, la demanda total del agua en la cuenca del río Segura creció con tanta intensidad que se superaron los límites establecidos por los recursos naturales existentes, provocando un déficit estructural totalmente insostenible (Martínez-Fernández, Esteve-Selma, & Calvo-Sendín, 2000). Con las medidas impulsadas como consecuencia de la entrada en vigor de la Directiva Marco del Agua (DMA) se ha aliviado dicho déficit; sin embargo, al día de hoy este problema todavía no se ha solucionado.

La cuenca del río Segura es una de las regiones con mayor estrés hídrico de la Europa Mediterránea. En términos globales, la demanda actual total es de 1 800 hm<sup>3</sup>/año, de los cuales un 86% corresponde a la demanda agraria y un 10% a la demanda urbana. Frente a estos datos de demanda, las aportaciones en régimen natural rondan los 800 hm<sup>3</sup> anuales (CHS, 2013). En los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo para minimizar en la medida de lo posible este déficit a través de la obtención de recursos no convencionales, como son los procedentes de la reutilización de aguas depuradas, la desalación y el trasvase de recursos hídricos procedentes de cuencas cercanas.

## Metodología y datos

### Descripción general del WSI

El Índice de Sostenibilidad de Cuencas (WSI) asume que la sostenibilidad de la cuenca como recurso depende de su hidrología (*H*), medio ambiente (*E*), vida (*L*) y de las políticas aplicadas en materia de recursos hídricos (*P*) (Chaves y Alipaz, 2007). A través de estos cuatro indicadores se puede obtener el WSI aplicando la siguiente ecuación:

$$WSI = (H + E + L + P) / 4$$

Donde *H* es el indicador de hidrología (0-1); *E*, el indicador de medio ambiente (0-1); *L*, el indicador de vida (0-1), y *P* es el indicador de política (0-1). De la propia ecuación se deduce que se le da el mismo peso a cada uno de los indicadores y que, al igual que el resto de indicadores, el WSI variará entre 0 y 1. Cada uno de estos indicadores se analiza por separado, siguiendo un modelo presión-estado-respuesta (PER). Para ello, Chaves y Alipaz proponen una serie de parámetros que permiten representar de forma adecuada los procesos individuales que forman parte de cada indicador (cuadro 1). Además, estos parámetros permiten cierta flexibilidad para poder adaptarse a las condiciones particulares de la cuenca donde se pretende calcular el WSI. En este sentido, los autores sugieren establecer un límite máximo de 2 500 km<sup>2</sup> de superficie de cuenca para su correcta aplicación.

El modelo PER fue desarrollado por Rapport y Friend (1979), y ampliamente utilizado en todo el mundo como consecuencia de su implementación como modelo de desarrollo de indicadores ambientales por parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Consiste en el análisis de la relación existente entre las actividades humanas (presión) y su impacto en el estado del medioambiente (estado), lo que provoca

Cuadro 1. Indicadores y parámetros del WSI.

Indicador	Presión	Estado	Respuesta
(H) hidrología	Variación en la disponibilidad de agua per cápita en el periodo	Disponibilidad <i>per cápita</i> de agua en la cuenca	Evolución en la eficiencia del uso del agua en el periodo analizado
	Variación en la DBO <sub>5</sub> del periodo en relación con el promedio	DBO <sub>5</sub> de la cuenca (promedio a largo plazo)	Evolución en el tratamiento/ disposición de aguas servidas en el periodo analizado
(E) ambiente	EPI (rural y urbano) de la cuenca en el periodo	% de la cuenca con vegetación natural	Evolución en áreas protegidas en la cuenca (reservas, BMPs)
(L) vida	Variación en el (GDP) per cápita en la cuenca en el periodo analizado	IDH de la cuenca en el periodo anterior (ponderado)	Evolución del IDH de la cuenca en el periodo analizado
(P) política	Variación del IDH-Ed en el periodo analizado	Capacidad legal e institucional en GIRH en la cuenca	Evolución de los gastos en GIRH en la cuenca en el periodo analizado

una serie de acciones a realizar para poder dar solución a los problemas generados (respuesta). La ventaja de utilizar un modelo de este tipo es que, al incorporar las relaciones causa-efecto, permite conocer a usuarios y encargados de tomar las decisiones de las relaciones existentes entre los distintos parámetros y, por lo tanto, servir de ayuda al establecimiento o reorientación de las políticas aplicadas (OCDE, 2003).

En los cuadros 2, 3 y 4 se muestran los niveles con su respectiva puntuación propuestos por Chaves y Alipaz (2007). De este modo se obtendría la puntuación de cada uno de los indicadores, para a continuación aplicar la ecuación antes mencionada. Una vez obtenido el valor final del WSI, se podría considerar una

sostenibilidad *baja* si  $WSI < 0.5$ ; *intermedia*, si el rango varía entre 0.5 y 0.8, y *alta* si  $WSI > 0.8$ .

#### Adaptación de la metodología al caso de estudio y datos utilizados

En el presente estudio se aplica el WSI a la cuenca del río Segura. Dicha cuenca supera en superficie el límite máximo que establece la metodología de cálculo del WSI, por lo que se ha aplicado esta metodología a cada una de las 14 subcuencas definidas en el PHCS (CHS, 2013). De este modo, todas las subcuencas analizadas presentan una superficie inferior a los 2 500 km<sup>2</sup>, salvo la subcuenca del Guadalentín, que supera ligeramente los 3 000 km<sup>2</sup>, y la subcuenca de la

Cuadro 2. Descripción de los parámetros de presión, nivel y puntuación.

Indicador	Parámetros de presión	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	$\Delta 1$ variación per cápita del agua disponible en la cuenca en el periodo estudiado, relativo al promedio a largo plazo (m <sup>3</sup> /año-persona)	$\Delta 1 \leq -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta 1 \leq -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta 1 \leq 0\%$	0.50
		$0\% < \Delta 1 \leq +10\%$	0.75
		$\Delta 1 > +10\%$	1.00
	$\Delta 2$ variación DBO <sub>5</sub> en la cuenca durante el periodo estudiado, o en otro parámetro crítico, relativo al promedio a largo plazo (o histórico)	$\Delta 2 \geq 20\%$	0.00
		$20\% > \Delta 2 \geq 10\%$	0.25
		$10\% > \Delta 2 \geq 0\%$	0.50
		$-10\% \leq \Delta 2 < 0\%$	0.75
		$\Delta 2 < -10\%$	1.00
(E) ambiente	EPI de la cuenca (rural y urbana) en el periodo estudiado	$EPI \geq 20\%$	0.00
		$20\% > EPI \geq 10\%$	0.25
		$10\% > EPI \geq 5\%$	0.50
		$5\% > EPI \geq 0\%$	0.75
		$EPI < 0\%$	1.00
(L) vida	Variación de IDHPIB-Índice de renta per cápita (IPIB) en el periodo estudiado, relativo al periodo anterior	$\Delta \leq -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta \leq -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.50
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.75
		$\Delta > +10\%$	1.00
(P) política	Variación en la cuenca del IDH-educación (IE) en el periodo estudiado, relativo al periodo previo	$\Delta \leq -20\%$	0.00
		$-20\% < \Delta \leq -10\%$	0.25
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.50
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.75
		$\Delta > +10\%$	1.00

Cuadro 3. Descripción de los parámetros de estado, nivel y puntuación.

Indicador	Parámetros de estado	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	Wa - Disponibilidad de agua per cápita (m <sup>3</sup> /persona año) tanto en superficie como en fuentes de agua subterráneas en el periodo histórico	$Wa \leq 1.700$	0.00
		$1.700 < Wa \leq 3.400$	0.25
		$3.400 < Wa \leq 5.100$	0.50
		$5.100 < Wa \leq 6.800$	0.75
		$6.800 < Wa$	1.00
	Promedio DBO <sub>5</sub> (mg/l) de la cuenca a largo plazo (u otro parámetro crítico)	$DBO_5 \geq 10$	0.00
		$10 > DBO_5 \geq 5$	0.25
		$5 > DBO_5 \geq 3$	0.50
		$3 > DBO_5 \geq 1$	0.75
		$DBO_5 < 1$	1.00
(E) ambiente	Porcentaje de área (Av) de la cuenca bajo vegetación natural	$Av \leq 5\%$	0.00
		$5\% < Av \leq 10\%$	0.25
		$10\% < Av \leq 25\%$	0.50
		$25\% < Av \leq 40\%$	0.75
		$Av > 40\%$	1.00
(L) vida	IDH ponderado de cuenca en el periodo anterior (ponderado por población)	$IDH \leq 0.5$	0.00
		$0.5 < IDH \leq 0.6$	0.25
		$0.6 < IDH \leq 0.75$	0.50
		$0.75 < IDH \leq 0.9$	0.75
		$IDH > 0.9$	1.00
(P) política	Capacidad legal e institucional en GIRH en la cuenca (legal y organizacional)	Muy pobre	0.00
		Pobre	0.25
		Regular	0.50
		Bueno	0.75
		Excelente	1.00

Sierra del Segura, cuya superficie es de unos 2 600 km<sup>2</sup>. Por lo tanto, se calculará el WSI por subcuenca para después obtener el WSI medio en toda la cuenca del Segura. Esta reducción de escala espacial dificulta la obtención de los distintos indicadores que forman parte de la metodología, pues algunos de ellos están disponibles a escala de cuenca o a escala provincial. Además, no existen antecedentes de la aplicación del WSI ni en la cuenca del Segura, ni en regiones semiáridas mediterráneas. Es por ello, como se comenta a lo largo de este apartado, que se han tenido que realizar una serie de ajustes a los datos utilizados teniendo en cuenta los condicionantes físicos, medioambientales y socioeconómicos propios del área de estudio.

#### Hidrología: cantidad de agua

Con objeto de determinar los parámetros de presión y estado, se ha calculado la disponibilidad de agua (superficial + subterránea) per cápita tanto para el periodo de estudio (2006-2010) como para el promedio histórico (1996-2010). Los caudales de escorrentía total se han obtenido a partir de los ráster disponibles en el Sistema Integrado de Información del Agua (SIA), perteneciente al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España (Magrama, 2013). La población asociada con cada una de las subcuencas se ha determinado mediante los datos de evolución poblacional a escala municipal disponibles en el Instituto

Cuadro 4. Descripción de los parámetros de respuesta, nivel y puntuación.

Indicador	Parámetros de respuesta	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	Evolución en la eficiencia de la utilización de agua en la cuenca durante el periodo analizado, un periodo de cinco años con respecto al periodo histórico	Muy pobre	0.00
		Pobre	0.25
		Regular	0.50
		Bueno	0.75
		Excelente	1.00
	Evolución en el tratamiento/eliminación de aguas residuales en la cuenca durante el periodo analizado	Muy pobre	0.00
		Pobre	0.25
		Regular	0.50
		Bueno	0.75
		Excelente	1.00
(E) ambiente	Evolución de áreas para la conservación de cuencas (áreas protegidas y BMP) durante el periodo	$\Delta \leq -10\%$	0.00
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.25
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.50
		$+10\% < \Delta \leq +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00
(L) vida	Variación del IDH en la cuenca durante el periodo (ponderado)	$\Delta \leq -10\%$	0.00
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.25
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.50
		$+10\% < \Delta \leq +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00
(P) política	Evolución de los gastos en GIRH (legal y organizacional) en la cuenca durante el periodo	$\Delta \leq -10\%$	0.00
		$-10\% < \Delta \leq 0\%$	0.25
		$0\% < \Delta \leq +10\%$	0.50
		$+10\% < \Delta \leq +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00

Nacional de Estadística (INE, 2014). Para el caso de municipios cuya superficie formaba parte de varias subcuencas, el criterio seguido ha sido el de asignar la población del mismo a la subcuenca donde se situaba geográficamente el núcleo principal de población de dicho municipio.

En relación con los parámetros de respuesta, Chaves y Alipaz (2007) sugieren la evaluación de las mejoras respecto al uso eficiente de los recursos hídricos. En este sentido, y teniendo en cuenta los antecedentes mencionados en la descripción del área de estudio, la eficiencia en el uso de los recursos hídricos naturales de la cuenca se caracteriza por ser muy alta y constante en los últimos 30 años (Grindlay, Zamorano, Rodríguez, Molero, & Urrea, 2011), por lo que se ha decidido analizar este parámetro desde

un punto de vista más cuantitativo, calculando por subcuencas los recursos hídricos no convencionales obtenidos gracias a la reutilización de aguas residuales (R), la desalación (D) y los trasvases procedentes de cuencas cercanas (T), asignando la puntuación en función del porcentaje de recurso hídrico no convencional conseguido respecto a la disponibilidad natural de agua per cápita (cuadro 5).

#### *Hidrología: calidad del agua*

Los parámetros de presión y estado se han calculado a partir de los datos disponibles de demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO<sub>5</sub>) en las estaciones de control de calidad de las aguas que gestiona la Confederación

Cuadro 5. Parámetros de respuesta modificados para el indicador hidrología-cantidad.

Indicador	Parámetros de respuesta	Nivel	Puntuación
(H) hidrología	Evolución de la disponibilidad per cápita de agua procedente de recursos <b>no</b> convencionales en el periodo estudiado	No se crean recursos <b>no</b> convencionales	0.00
		$0\% \leq \Delta < +5\%$	0.25
		$+5\% \leq \Delta < +10\%$	0.50
		$+10\% \leq \Delta < +20\%$	0.75
		$\Delta > +20\%$	1.00

Hidrográfica del Segura (CHS), organismo encargado de la gestión de la cuenca. En cuanto a las mejoras en el tratamiento de las aguas residuales, se ha seguido el criterio utilizado por Preciado-Jiménez *et al.* (2013), evaluando el número de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) disponible en cada una de las subcuencas. Además, se ha tenido en cuenta el volumen de aguas residuales tratado en cada subcuenca. Como consecuencia del desarrollo del Plan General de Saneamiento y Depuración de la Región de Murcia (BORM, 2003), zona que ocupa un 61.42% del total de la cuenca, se ha mejorado el nivel de depuración de las aguas añadiendo tratamientos terciarios a las depuradoras existentes y sustituyendo técnicas de depuración mediante lagunaje por otros sistemas más eficaces. Esto implica que en algunos casos se ha reducido el número de EDAR o el volumen de aguas tratado, sin que esto signifique un empeoramiento, pues lo que se ha conseguido es mejorar la calidad de las aguas tratadas con vistas a su posterior reutilización. Por todo ello, el criterio que se ha seguido es el de establecer un nivel medio (0.5) para todas las subcuencas, elevando la puntuación en función de la evolución del número de EDAR disponible y del volumen tratado.

#### Medio ambiente

El Índice de Presión Ambiental o Environment Pressure Index (EPI) se calcula como la variación media a lo largo del periodo de estudio tanto de la superficie de la cuenca, cuyo uso es agropecuario, como de la población residente en

dicha cuenca. Estas variaciones se han obtenido para cada una de las subcuencas a partir de los datos de población del INE, y de los mapas de usos del suelo obtenidos en la cuenca del Segura mediante teledetección por Alonso-Sarría, Gomariz-Castillo y Cánovas-García (2010). Estos últimos datos también han servido para determinar el porcentaje de cada una de las subcuencas con vegetación natural. En cuanto al parámetro de respuesta, se han usado los datos disponibles de la fundación EUROPARC-España (EUROPARC, 2014).

#### Vida

Se ha partido de los índices de desarrollo humano (IDH) publicados por el Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas (Herrero, Soler, & Villar, 2012). Tales índices están calculados a escala provincial, por lo que para obtener los indicadores relativos a cada subcuenca, se ha calculado una media ponderada en función del origen poblacional de cada una de las subcuencas.

#### Política

El indicador de presión asociado con este parámetro es el índice de desarrollo humano relativo a la educación (IDH-educación), el cual se ha determinado de forma análoga a los indicadores de vida mencionados antes. Para el análisis de la respuesta política se han empleado los datos facilitados por el organismo encargado de la gestión de la cuenca (CHS) en cuanto a inversiones realizadas para la gestión

de los recursos hídricos de la cuenca durante el periodo de estudio.

Respecto a la capacidad institucional de la cuenca, el WSI utiliza una calificación cuantitativa que varía desde pobre (0.0) hasta excelente (1.0), admitiéndose que si existen unas leyes adecuadas en materia de gestión de recursos hídricos, pero que todavía no han sido implementadas o reguladas, se podría asignar un puntuación intermedia (0.5). En este caso de estudio, se va a partir del nivel intermedio para toda la cuenca, incrementando la puntuación en función de la capacidad institucional y el nivel de participación pública. Para ello, se analizan las reuniones entre los distintos sectores implicados, el número de objetivos tratados en dichas reuniones y la participación en las mismas de los agentes implicados en el proceso.

## Resultados y discusión

### *Hidrología: cantidad de agua*

Las condiciones climáticas semiáridas de la cuenca del Segura quedan demostradas al analizar la disponibilidad anual de agua per cápita para cada una de las subcuencas (cuadro 6).

La mayoría de las subcuencas cuenta con una disponibilidad hídrica inferior a los 500 m<sup>3</sup>/hab. año, lo que a efectos del índice de estrés hídrico (Falkenmark, Lundquist, & Widstrand, 1989) se podría catalogar como absoluta escasez. De ahí que los indicadores de estado presenten puntuaciones tan bajas. La disponibilidad de agua es mayor solamente en aquellas subcuencas situadas en la cabecera de la cuenca (Sierra del Segura, Corral Rubio y Río Mundo), como consecuencia de su menor densidad poblacional combinada con un régimen pluviométrico más alto. En cuanto a las subcuencas con una disponibilidad inferior a los 100 m<sup>3</sup>/hab. año, destaca la Vega Media y el Sur de Alicante con 18 y 58 m<sup>3</sup>/hab. año, respectivamente. En el caso de la Vega Media, dicho valor se justifica como consecuencia de que la ciudad más poblada de la cuenca del Segura (alrededor de 450 000 habitantes), Murcia, se ubica en dicha subcuenca. Por otro lado, el Sur de Alicante es una subcuenca costera donde la densidad de población también es muy alta, de ahí su baja disponibilidad. En relación con los indicadores de presión, las disponibilidades durante el periodo de estudio son en general superiores al periodo histórico, lo que justifica las altas puntuaciones obtenidas.

Cuadro 6. Valores obtenidos de los parámetros de presión y estado para el indicador hidrología-cantidad.

Subcuenca	Disponibilidad per cápita de agua (m <sup>3</sup> /hab año) (1996-2010)	Disponibilidad per cápita de agua (m <sup>3</sup> /hab año) (2006-2010)	Δ (%)	Puntuación presión	Puntuación estado
Río Mundo	2 054	2 532	23.27	1	0.25
Corral Rubio	1 811	1 897	4.73	0.75	0.25
Yecla	360	390	8.28	0.75	0
Ramblas del Noroeste	474	571	20.50	1	0
Sur de Alicante	58	53	-8.62	0.50	0
Vega Media	18	19	3.78	0.75	0
Mar Menor	106	90	-15.42	0.25	0
Guadalestín	469	580	23.68	1	0
Sur de Murcia	183	184	0.63	0.75	0
Almería	623	737	18.44	1	0
Mula	1 134	1 134	0.04	0.75	0
Vega Alta	235	271	15.29	1	0
Noroeste de Murcia	1 453	1 746	20.20	1	0
Sierra del Segura	25 413	33 712	32.66	1	1

En el cuadro 7 se muestran los parámetros de respuesta calculados a partir de los recursos no convencionales generados. Cabe destacar que en todas y cada una de las subcuencas analizadas se están reutilizando las aguas residuales depuradas. Los mayores esfuerzos en cuanto a desalación y trasvases se están produciendo en aquellos lugares cuya disponibilidad de agua era menor, llegando en muchos casos a superar mediante este tipo de recursos la disponibilidad de agua natural.

### Hidrología: calidad de agua

Se ha analizado la variación de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ , en mg/l) tanto para el periodo estudiado (2006-2010) como para el promedio histórico, obteniendo los resultados mostrados en el cuadro 8. Se observa cómo en una gran parte de las subcuencas la concentración ha descendido de forma importante, lo que da lugar a puntuaciones de presión altas. Sin embargo, los registros analizados durante el periodo histórico muestran valores de concentración muy altos (puntuaciones bajas del parámetro de estado), lo que demuestra que la

actuación de la CHS en materia de control de vertidos como consecuencia de la implantación de la DMA está consiguiendo resultados muy beneficiosos.

La reutilización de aguas residuales es uno de los principales objetivos de los organismos encargados de la gestión de los recursos hídricos de la cuenca del Segura. De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro 7, todas las subcuencas están empleando aguas reutilizadas como una de las formas disponibles para paliar el déficit hídrico de la cuenca. Para conseguir aumentar los volúmenes reutilizados, se han hecho grandes inversiones en los últimos años en materia de depuración de aguas residuales. Dichas inversiones se reflejan en el número de EDAR y en el volumen de aguas residuales tratadas en la cuenca (cuadro 9), que en la mayoría de los casos ha aumentado de forma considerable, obteniéndose niveles de respuesta muy altos.

### Medio ambiente

En el cuadro 10 se muestra el EPI calculado para cada una de las subcuencas de la cuenca

Cuadro 7. Valores obtenidos de los parámetros de respuesta para el indicador hidrología-cantidad.

Subcuenca	Población media anual (2006-2010)	Recursos no convencionales					$\Delta$ (%)	Puntuación respuesta
		T (hm <sup>3</sup> )	R (hm <sup>3</sup> )	D (hm <sup>3</sup> )	Total (hm <sup>3</sup> )	Per cápita (m <sup>3</sup> /hab año)		
Río Mundo	50 700		2.23		2.23	44	1.74	0.25
Corral Rubio	2 505		0.06		0.06	25	1.32	0.25
Yecla	36 907		1.78		1.78	48	12.31	0.75
Ramblas del Noroeste	51 806	0.96	6.37		7.33	142	24.87	1
Sur de Alicante	380 764	47.46	19.34	53	119.80	315	594.34	1
Vega Media	495 328	28.69	4.05		32.74	66	347.37	1
Mar Menor	361 745	49.01	19.73	92	158.74	439	487.78	1
Guadalentín	171 063	25.26	6.60		31.86	186	32.07	1
Sur de Murcia	67 522	3.71	2.24	61.50	67.45	999	542.93	1
Almería	8 014	3.87	0.29	7	11.16	139	18.86	0.75
Mula	24 264	2.69	1.10		3.79	156	13.76	0.75
Vega Alta	174 926	22.83	11.42		34.25	196	72.32	1
Noroeste de Murcia	73 166	4.02	3.08		7.10	97	5.56	0.50
Sierra del Segura	17 774	0.15	0.84		0.99	55	0.16	0.25

Cuadro 8. Valores obtenidos de los parámetros de presión y estado para el indicador hidrología-calidad.

Subcuenca	Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l) (1979-2010)	Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l) (2006-2010)	$\Delta$ (%)	Puntuación presión	Puntuación estado
Río Mundo	1.43	0.69	-51.75	1	0.75
Corral Rubio	13.33	13.33	0.00	0.75	0
Yecla	23.98	6.78	-71.73	1	0
Ramblas del Noroeste	3.76	3.76	0.00	0.75	0.50
Sur de Alicante	18.37	2.75	-85.03	1	0
Vega Media	38.97	3.02	-92.25	1	0
Mar Menor	3.81	3.81	0.00	0.75	0.50
Guadalentín	181.10	47.44	-73.80	1	0
Sur de Murcia	0.00	0.00	0.00	0.75	1
Almería	23.98	6.78	-71.73	1	0
Mula	14.84	3.18	-78.57	1	0
Vega Alta	5.17	0.80	-84.53	1	0.25
Noroeste de Murcia	5.98	2.33	-61.04	1	0.25
Sierra del Segura	1.02	0.21	-79.41	1	0.75

Cuadro 9. Valores obtenidos de los parámetros de respuesta para el indicador hidrología-calidad.

Subcuenca	Núm. de EDAR (2006)	Volumen (hm <sup>3</sup> ) (2006)	Núm. de EDAR (2010)	Volumen (hm <sup>3</sup> ) (2010)	$\Delta$ EDAR (%)	$\Delta$ vol. (%)	Puntuación respuesta
Río Mundo	6	4.29	15	4.70	+150.00	+9.56	1
Corral Rubio	0	0	3	0.15			1
Yecla	3	2.03	2	1.79	-33.33	-11.82	0.50
Ramblas del Noroeste	6	5.13	17	6.46	+183.33	+25.93	1
Sur de Alicante	30	26.33	32	24.88	+6.67	-5.51	0.75
Vega Media	9	39.47	7	44.60	-22.22	+13.00	0.75
Mar Menor	23	27.76	27	26.02	+17.39	-6.27	0.75
Guadalentín	14	7.35	13	7.00	-7.14	-4.76	0.50
Sur de Murcia	3	3.91	3	4.17	0.00	+6.65	0.75
Almería	1	0.31	2	0.36	+100.00	+16.13	1
Mula	3	3.05	6	3.08	+100.00	+0.98	1
Vega Alta	10	13.95	11	15.13	+10.00	+8.46	1
Noroeste de Murcia	7	3.21	11	5.19	+57.14	+61.68	1
Sierra del Segura	7	2.20	8	1.67	+14.29	-24.09	0.75

del Segura. Analizando dicho cuadro, se observa cómo las superficies destinadas a los usos agropecuarios han ido disminuyendo a lo largo del periodo de estudio. El motivo fundamental de dicha reducción es el abandono de las labores agrícolas como consecuencia de la escasez hídrica. Solamente la Sierra del Segura, que se

caracteriza por ser la subcuenca con una mayor disponibilidad hídrica de la cuenca (cuadro 6), y las subcuencas del Sur de Murcia y Almería, como consecuencia de las aportaciones hídricas recibidas procedentes principalmente de la desalación (cuadro 7), no siguen esta tendencia. En términos de población, prácticamente en todas

Cuadro 10. Valores obtenidos de los parámetros de presión para el indicador medio ambiente.

Subcuenca	Superficie agropecuaria (km <sup>2</sup> )			Población (habitantes)				Puntuación presión
	2006	2010	Δ (%)	2006	2010	Δ (%)	EPI	
Río Mundo	1 020	1 004	-1.57	50 146	51 067	+1.84	+0.14	0.75
Corral Rubio	234	198	-15.38	2 545	2 403	-5.58	-10.48	1
Yecla	553	502	-9.22	36 284	37 246	+2.65	-3.29	1
Ramblas del Noroeste	799	706	-11.64	49 458	53 744	+8.67	-1.49	1
Sur de Alicante	612	572	-6.54	354 153	398 132	+12.42	+2.94	0.75
Vega Media	192	173	-9.90	479 584	509 179	+6.17	-1.87	1
Mar Menor	1 101	1 166	+5.90	348 893	374 466	+7.33	+6.62	0.50
Guadalentín	1 668	1 579	-5.34	167 811	174 810	+4.17	-0.59	1
Sur de Murcia	205	352	+71.71	63 291	70 364	+11.18	+41.45	0
Almería	210	245	+16.67	7 537	8 429	+11.83	+14.25	0.25
Mula	351	338	-3.70	23 530	24 640	+4.72	+0.51	0.75
Vega Alta	608	555	-8.72	166 301	181 529	+9.16	+0.22	0.75
Noroeste de Murcia	798	771	-3.38	71 045	74 467	+4.82	+0.72	0.75
Sierra del Segura	391	599	+53.20	18 086	17 368	-3.97	+24.62	0

las subcuencas se ha producido un incremento que varía entre un 0 y un 10%.

En cuanto a la superficie de vegetación natural de la cuenca (cuadro 11), los parámetros de presión se podrían calificar como aceptables, teniendo en cuenta que la única subcuenca con un porcentaje inferior a 10%, y por lo tanto muy antropizada, es la subcuenca de Corral Rubio, destacando en sentido contrario la Sierra del Segura. Esta subcuenca es, a su vez, la que presenta una mayor superficie de espacios naturales protegidos (ENP). La aprobación en España de la mayor parte de los ENP se produjo a lo largo de la década de 1990 (Vacas-Guerrero, 2005), de ahí que durante el periodo analizado apenas existan variaciones en ese sentido.

### Vida

En el cuadro 12 se pueden observar los parámetros de presión. El índice de desarrollo humano asociado con la renta (IDH-renta) ha descendido a lo largo del periodo de estudio en prácticamente todas las subcuencas analizadas. Dicho descenso varía entre 1 y 1.5%, y se justifica de manera fundamental por el periodo de crisis económica en el que se encuentra España. La

subcuenca asociada con la provincia de Almería es la única donde se produce una mejora en dicho índice (+0.4%).

Respecto a los parámetros de estado y respuesta (cuadro 13), todas las provincias concernientes al área de estudio presentan unos índices de desarrollo humano (IDH) y una evolución a lo largo del área de estudio muy similares. El rango de variación se sitúa entre 0.823 y 0.853, mientras que el incremento en el IDH varía entre 0.84 y 2.87%. Estos resultados demuestran la homogeneidad socioeconómica del área de estudio a pesar de la gran superficie analizada.

### Política

Análogo a los resultados anteriores relativos al IDH, el índice de desarrollo humano asociado con la educación (IDH-educación) varía muy poco a lo largo del área de estudio y presenta una ligera tendencia al alza, tal y como se observa en el cuadro 14.

El cumplimiento de los procesos de participación pública determinados por la DMA ha provocado que, de acuerdo con las distintas actas de reuniones consultadas, más de 50%

Cuadro 11. Valores obtenidos de los parámetros de estado y respuesta para el indicador medio ambiente.

Subcuenca	Superficie (km <sup>2</sup> )	Av (%) (2006-2010)	Puntuación estado	ENP (2006) (km <sup>2</sup> )	ENP (2010) (km <sup>2</sup> )	Δ (%)	Puntuación respuesta
Río Mundo	2 414	46.86	1	74.14	77.09	+3.98	0.50
Corral Rubio	272	5.45	0.25	3.42	3.42	0.00	0.25
Yecla	843	23.65	0.50	8.99	8.99	0.00	0.25
Ramblas del Noroeste	1 497	32.11	0.75	115.20	116.16	+0.83	0.50
Sur de Alicante	1 016	15.16	0.50	143.25	145.29	+1.42	0.50
Vega Media	412	24.73	0.50	31.17	31.17	0.00	0.25
Mar Menor	1 602	17.08	0.50	105.99	105.99	0.00	0.25
Guadalentín	3 343	37.55	0.75	410.96	411.08	+0.03	0.50
Sur de Murcia	690	49.13	1	45.30	45.30	0.00	0.25
Almería	452	42.43	1	0.67	0.67	0.00	0.25
Mula	708	36.25	0.75	44.72	44.72	0.00	0.25
Vega Alta	1 389	41.13	1	41.54	41.54	0.00	0.25
Noroeste de Murcia	1 688	41.52	1	0.08	0.08	0.00	0.25
Sierra del Segura	2 605	75.24	1	737.74	737.74	0.00	0.25

Cuadro 12. Valores obtenidos de los parámetros de presión para el indicador vida.

Subcuenca	Provincia	Población		IDH-renta		IDH-renta ponderado			Puntuación presión
		2006	2010	2006	2010	2006	2010	Δ (%)	
Río Mundo	Albacete	50 146	51 067	0.768	0.759	0.768	0.759	-1.17	0.50
Corral Rubio	Albacete	2 545	2 403	0.768	0.759	0.768	0.759	-1.17	0.50
Yecla	Murcia	33 964	34 945	0.789	0.779	0.788	0.778	-1.27	0.50
	Albacete	2 320	2 301	0.768	0.759				
Ramblas del Noroeste	Murcia	39 122	42 413	0.789	0.779	0.790	0.780	-1.27	0.50
	Alicante	10 336	11 331	0.794	0.782				
Sur de Alicante	Alicante	354 153	398 132	0.794	0.782	0.794	0.782	-1.51	0.50
Vega Media	Murcia	479 584	509 179	0.789	0.779	0.789	0.779	-1.27	0.50
Mar Menor	Murcia	329 315	351 911	0.789	0.779	0.789	0.779	-1.27	0.50
	Alicante	19 578	22 555	0.794	0.782				
Guadalentín	Murcia	155 244	162 083	0.789	0.779	0.790	0.781	-1.14	0.50
	Almería	12 567	12 727	0.800	0.803				
Sur de Murcia	Murcia	63 291	70 364	0.789	0.779	0.789	0.779	-1.27	0.50
Almería	Almería	7 537	8 429	0.800	0.803	0.800	0.803	+0.38	0.75
Mula	Murcia	23 530	24 640	0.789	0.779	0.789	0.779	-1.27	0.50
Vega Alta	Murcia	166 301	181 529	0.789	0.779	0.789	0.779	-1.27	0.50
Noroeste de Murcia	Murcia	71 045	74 467	0.789	0.779	0.789	0.779	-1.27	0.50
Sierra del Segura	Albacete	14 046	13 666	0.768	0.759	0.764	0.756	-1.05	0.50
	Jaén	4 040	3 702	0.752	0.748				

Cuadro 13. Valores obtenidos de los parámetros de estado y respuesta para el indicador vida.

Subcuenca	Provincia	IDH		IDH ponderado			Puntuación estado	Puntuación respuesta
		2006	2010	2006	2010	$\Delta$ (%)		
Río Mundo	Albacete	0.826	0.837	0.826	0.837	+1.33	0.75	0.50
Corral Rubio	Albacete	0.826	0.837	0.826	0.837	+1.33	0.75	0.50
Yecla	Murcia	0.838	0.845	0.837	0.845	+0.96	0.75	0.50
	Albacete	0.826	0.837					
Ramblas del Noroeste	Murcia	0.838	0.845	0.838	0.847	+1.07	0.75	0.50
	Alicante	0.839	0.853					
Sur de Alicante	Alicante	0.839	0.853	0.839	0.853	+1.67	0.75	0.50
Vega Media	Murcia	0.838	0.845	0.838	0.845	+0.84	0.75	0.50
Mar Menor	Murcia	0.838	0.845	0.838	0.845	+0.84	0.75	0.50
	Alicante	0.839	0.853					
Guadalentín	Murcia	0.838	0.845	0.837	0.845	+0.96	0.75	0.50
	Almería	0.823	0.847					
Sur de Murcia	Murcia	0.838	0.845	0.838	0.845	+0.84	0.75	0.50
Almería	Almería	0.823	0.847	0.823	0.847	+2.92	0.75	0.50
Mula	Murcia	0.838	0.845	0.838	0.845	+0.84	0.75	0.50
Vega Alta	Murcia	0.838	0.845	0.838	0.845	+0.84	0.75	0.50
Noroeste de Murcia	Murcia	0.838	0.845	0.838	0.845	+0.84	0.75	0.50
Sierra del Segura	Albacete	0.826	0.837	0.824	0.837	+1.58	0.75	0.50
	Jaén	0.820	0.837					

Cuadro 14. Valores obtenidos de los parámetros de presión para el indicador política.

Subcuenca	Provincia	IDH-educación		IDH-educación ponderado			Puntuación presión
		2006	2010	2006	2010	$\Delta$ (%)	
Río Mundo	Albacete	0.753	0.781	0.753	0.781	+3.74	0.75
Corral Rubio	Albacete	0.753	0.781	0.753	0.781	+3.74	0.75
Yecla	Murcia	0.782	0.797	0.780	0.796	+2.04	0.75
	Albacete	0.753	0.781				
Ramblas del Noroeste	Murcia	0.782	0.797	0.780	0.799	+2.45	0.75
	Alicante	0.772	0.806				
Sur de Alicante	Alicante	0.772	0.806	0.772	0.806	+4.46	0.75
Vega Media	Murcia	0.782	0.797	0.782	0.797	+1.92	0.75
Mar Menor	Murcia	0.782	0.797	0.781	0.798	+2.06	0.75
	Alicante	0.772	0.806				
Guadalentín	Murcia	0.782	0.797	0.779	0.796	+2.19	0.75
	Almería	0.741	0.783				
Sur de Murcia	Murcia	0.782	0.797	0.782	0.797	+1.92	0.75
Almería	Almería	0.741	0.783	0.741	0.783	+5.72	0.75
Mula	Murcia	0.782	0.797	0.782	0.797	+1.92	0.75
Vega Alta	Murcia	0.782	0.797	0.782	0.797	+1.92	0.75
Noroeste de Murcia	Murcia	0.782	0.797	0.782	0.797	+1.92	0.75
Sierra del Segura	Albacete	0.753	0.781	0.756	0.787	+4.04	0.75
	Jaén	0.767	0.807				

de los organismos, administraciones y entidades convocadas acudan a las distintas mesas territoriales organizadas durante el periodo de estudio. Esto permite considerar la capacidad legal e institucional como buena (puntuación 0.75). Además, incidiendo en los objetivos tratados durante dichas mesas territoriales, per-

mite considerar alguna de las subcuencas como excelente, tal y como se observa en el cuadro 15.

La inversión en gestión integrada de los recursos hídricos en la cuenca (cuadro 16) ha aumentado a lo largo del periodo de estudio en todas las subcuencas analizadas. Tal y como se podría esperar, los menores incrementos se

Cuadro 15. Valores obtenidos de los parámetros de estado para el indicador de política.

Subcuenca	Objetivos tratados en las mesas territoriales					Puntuación estado
	Ambientales	Uso racional	Extremos	Gobernanza	Total	
Río Mundo	4	0	1	0	5	0.75
Corral Rubio	4	0	0	0	4	0.75
Yecla	1	1	0	1	3	0.75
Ramblas del Noroeste	1	1	0	1	3	0.75
Sur de Alicante	11	2	0	0	13	1
Vega Media	4	1	0	0	5	0.75
Mar Menor	5	1	0	0	6	1
Guadalestín	5	2	0	0	7	1
Sur de Murcia	5	2	0	0	7	1
Almería	5	2	0	0	7	1
Mula	4	1	0	0	5	0.75
Vega Alta	11	2	0	0	13	1
Noroeste de Murcia	4	1	0	0	5	0.75
Sierra del Segura	4	0	1	0	5	0.75

Cuadro 16. Valores obtenidos de los parámetros de respuesta para el indicador política.

Subcuenca	Población		Inversión (miles €)		$\Delta$ (%)	Puntuación respuesta
	2006	2010	2006	2010		
Río Mundo	50 146	51 067	434	445	+2.51	0.50
Corral Rubio	2 545	2 403	1 202	1 307	+8.71	0.50
Yecla	36 284	37 246	870	953	+9.58	0.50
Ramblas del Noroeste	49 458	53 744	1 186	1 376	+16.00	0.75
Sur de Alicante	354 153	398 132	8 492	10 191	+20.01	1
Vega Media	479 584	509 179	11 500	13 034	+13.34	0.75
Mar Menor	348 893	374 466	8 366	9 586	+14.58	0.75
Guadalestín	167 811	174 810	4 024	4 475	+11.21	0.75
Sur de Murcia	63 291	70 364	1 518	1 801	+18.68	0.75
Almería	7 537	8 429	181	216	+19.39	0.75
Mula	23 530	24 640	564	631	+11.79	0.75
Vega Alta	166 301	181 529	3 988	4 647	+16.53	0.75
Noroeste de Murcia	71 045	74 467	1 704	1 906	+11.89	0.75
Sierra del Segura	18 086	17 368	434	445	+2.51	0.50

Cuadro 17. WSI en la cuenca del Segura.

Subcuenca	Presión	Estado	Respuesta	Hidrología cantidad	Presión	Estado	Respuesta	Hidrología calidad	Presión	Estado	Respuesta	Medio-ambiente	Presión	Estado	Respuesta	Vida	Presión	Estado	Respuesta	Política	WSI
Río Mundo	1	0.25	0.25	0.50	1	0.75	1	0.92	0.75	1	0.50	0.75	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.50	0.67	0.68
Corral Rubio	0.75	0.25	0.25	0.42	0.75	0	1	0.58	1	0.25	0.25	0.50	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.50	0.67	0.56
Yecla	0.75	0	0.75	0.50	1	0	0.50	0.50	1	0	0.25	0.58	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.50	0.67	0.58
Ramblas del Noroeste	1	0	1	0.67	0.75	0.50	1	0.75	1	0.75	0.50	0.75	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75	0.70
Sur de Alicante	0.50	0	1	0.50	1	0	0.75	0.58	0.75	0.50	0.50	0.58	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	1	1	0.92	0.66
Vega Media	0.75	0	1	0.58	1	0	0.75	0.58	1	0.50	0.25	0.58	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75	0.63
Mar Menor	0.25	0	1	0.42	0.75	0.50	0.75	0.67	0.50	0.50	0.25	0.42	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	1	0.75	0.83	0.59
Guadalentín	1	0	1	0.67	1	0	0.50	0.50	1	0.75	0.50	0.75	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	1	0.75	0.83	0.69
Sur de Murcia	0.75	0	1	0.58	0.75	1	0.75	0.83	0	1	0.25	0.42	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	1	0.75	0.83	0.64
Almería	1	0	0.75	0.58	1	0	1	0.67	0.25	1	0.25	0.50	0.75	0.75	0.50	0.67	0.75	1	0.75	0.83	0.66
Mula	0.75	0	0.75	0.50	1	0	1	0.67	0.75	0.75	0.25	0.58	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75	0.63
Vega Alta	1	0	1	0.67	1	0.25	1	0.75	0.75	1	0.25	0.67	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	1	0.75	0.83	0.70
Noroeste de Murcia	1	0	0.50	0.50	1	0.25	1	0.75	0.75	1	0.25	0.67	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.75	0.75	0.66
Sierra del Segura	1	1	0.25	0.75	1	0.75	0.75	0.83	0	1	0.25	0.42	0.50	0.75	0.50	0.58	0.75	0.75	0.50	0.67	0.61
<b>Cuenca del Segura</b>	<b>0.82</b>	<b>0.11</b>	<b>0.75</b>	<b>0.56</b>	<b>0.93</b>	<b>0.29</b>	<b>0.84</b>	<b>0.68</b>	<b>0.68</b>	<b>0.75</b>	<b>0.32</b>	<b>0.58</b>	<b>0.52</b>	<b>0.75</b>	<b>0.50</b>	<b>0.59</b>	<b>0.75</b>	<b>0.86</b>	<b>0.70</b>	<b>0.77</b>	<b>0.64</b>

dan en las subcuencas ubicadas en la cabecera (Sierra del Segura y Río Mundo), mientras que los mayores aumentos se dan en las subcuencas costeras donde la presión hídrica es mayor (Sur de Alicante, Sur de Murcia y Almería).

En el cuadro 17 se muestra un resumen de los parámetros obtenidos para cada uno de los indicadores en las 14 subcuencas estudiadas. El WSI para cada una de las subcuencas varía entre 0.56 y 0.70, obteniéndose un WSI global para toda la cuenca del Segura de 0.64, lo que a efectos de la clasificación propuesta por Chaves y Alipaz supone un grado de sostenibilidad intermedio.

## Conclusiones

La del Segura se caracteriza por ser una de las cuencas con mayor estrés hídrico de la Europa mediterránea. Las altas presiones sobre los recursos hídricos han provocado numerosos problemas de índole político, económico, social y ambiental. Con objeto de evaluar la sostenibilidad en la gestión de los recursos hídricos de la cuenca, se ha aplicado la metodología del WSI, obteniéndose resultados satisfactorios que muestran una gestión sostenible del recurso en los últimos años. Se ha obtenido un índice WSI para toda la cuenca de 0.64, lo que permite calificar el nivel de sostenibilidad como intermedio. Las mayores fortalezas se relacionaron con los indicadores políticos, mientras que las mayores debilidades observadas se relacionaron con el indicador hidrológico relativo a cantidad debido principalmente a la situación de escasez hídrica. No se observaron grandes diferencias entre las subcuencas analizadas, lo que indica cierta homogeneidad en el grado de sostenibilidad en la gestión de las mismas.

La principal aportación del trabajo presentado es la adaptación de la metodología del WSI a las condiciones climáticas de una cuenca semiárida sujeta a las obligaciones derivadas de la implantación de la DMA europea. Para ello, se han modificado los indicadores de carácter más cualitativo a las condiciones de la zona de estudio, de modo que reflejen, por

un lado, los esfuerzos realizados en materia de generación de recursos no naturales y, por otro, las obligaciones derivadas de los procesos de participación pública propuestos en la DMA.

De acuerdo con las referencias consultadas, no existen antecedentes de aplicación de dicha metodología en Europa, por lo que la metodología propuesta podrá ser utilizada en numerosas cuencas mediterráneas europeas que presentan condiciones climáticas, sociales y legales muy similares a las del caso objeto de estudio.

## Referencias

- Alonso-Sarría, F., Gomariz-Castillo, F., & Cánovas-García, F. (2010). Análisis temporal de los cambios de usos del suelo en la cuenca del Segura mediante teledetección. Implicaciones sobre la degradación. *Rev. C. & G.*, 24(3-4), 73-88.
- BORM (6 de febrero de 2003). Resolución de 10 de enero de 2003 por la que se hace público el acuerdo del Consejo de Gobierno de la Comunidad Autónoma de Murcia de 20 de diciembre de 2002, por el que se aprueba definitivamente el Plan General de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales Urbanas de la Región de Murcia. *Boletín Oficial de la Región de Murcia*, 30, 2147-2170.
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future/World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press.
- Catano, N., Marchand, M., Staley, S., & Wang, Y. (2009). *Development and Validation of the Watershed Sustainability Index (WSI) for the Watershed of the Reventazón River*. Cartago, Costa Rica: Comcure Report.
- Chaves, H. (2009). *Desarrollo y validación del índice de sostenibilidad de cuencas para la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá*. Informe Técnico núm. 269731. Panamá: Autoridad del Canal de Panamá.
- Chaves, H., & Alipaz, S. (2007). An Integrated Indicator for Basin Hydrology, Environment, Life, and Policy: The Watershed Sustainability Index. *Journal of Water Resources Management*, 21, 883-895.
- CHS (2013). *Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura, Memoria*. Confederación Hidrográfica del Segura, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de [https://www.chsegura.es/export/descargas/planificacionydma/planificacion/docsdescarga/Memoria-PHCS-2009\\_2015.pdf](https://www.chsegura.es/export/descargas/planificacionydma/planificacion/docsdescarga/Memoria-PHCS-2009_2015.pdf).
- Cortés, A. E., Oyarzún, R., Kretschmer, N., Chaves, H., Soto, G., Soto, M., Amézaga, J., Oyarzún, J., Rötting, T., Señoret, M., & Maturana, H. (2012). Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui River Basin, North-Central Chile. *Obras y Proyectos*, 12, 57-69.

- Elfithri, R. (2013). *Watershed Sustainability Index (WSI) Study for Langat River Basin, Malaysia*. Recuperado de [http://conference2013.gwsp.org/uploads/media/Elfithri\\_Watershed\\_Sustainability\\_Index\\_\\_WSI\\_\\_Study\\_for\\_Langat\\_River\\_Basin\\_Malaysia.pdf](http://conference2013.gwsp.org/uploads/media/Elfithri_Watershed_Sustainability_Index__WSI__Study_for_Langat_River_Basin_Malaysia.pdf).
- EUROPARC (2014). *Fundación EUROPARC-España*. Recuperado de <http://www.redeuroparc.org/index.jsp>.
- Falkenmark, M., Lundquist, J., & Widstrand, C. (1989). Macro-Scale Water Scarcity Requires Micro-Scale Approaches: Aspects of Vulnerability in Semi-Arid Development. *Nat. Resor. Forum*, 13, 258-267.
- Firdaus, R., Nakagoshi, N., & Idris, A. (2014). Sustainability Assessment of Humid Tropical Watershed: A Case of Batang Merao Watershed, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 722-731.
- Grindlay, A. L., Zamorano, M., Rodríguez, M. I., Molero, E., & Urrea, M. A. (2011). Implementation of the European Water Framework Directive: Integration of Hydrological and Regional Planning at the Segura River Basin, Southeast Spain. *Land Use Policy*, 28, 242-256.
- Herrero, C., Soler, A., & Villar, A. (2012). *Desarrollo humano en España: 1980-2011* (54 pp.). Valencia: IVIE.
- INE (2014). *Instituto Nacional de Estadística*. Recuperado de <http://www.ine.es/>.
- Juwana, I., Muttill, N., & Perera, B. J. C. (2012). Indicator-Based Water Sustainability Assessment-A Review. *Science of the Total Environment*, 438, 357-371.
- Magrama (2013). El Sistema Integrado de Información del Agua. Recuperado de <http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/planificacion-hidrologica/sia/>.
- Martínez-Fernández, J., Esteve-Selma, M. A., & Calvo-Sendín, J. F. (2000). Environmental and Socioeconomic Interactions in the Evolution of Traditional Irrigated Lands: A Dynamic System Model. *Human Ecology*, 28, 279-299.
- OCDE (2003). *OCDE Environmental Indicators: Development, Measurement and Use. Reference Paper* (p. 50). Paris: OCDE.
- Preciado-Jiménez, M., Aparicio, J., Güitrón-de-los-Reyes, A., & Hidalgo-Toledo, J. A. (September-October, 2013). Watershed Sustainability Index for the Lerma-Chapala basin. *Water Technology and Sciences*, 4(3), 93-113.
- Rapport, D.J., & Friend, A. M. (1979). *Towards a Comprehensive Framework for Environmental Statistics: A Stress-Response Approach* (pp. 11-510). Ottawa, Canada: Minister of Supply and Services, Statistics Canada Catalogue.
- UNESCO (2005). *Hydrology for the Environment, Life and Policy-HELP (Brochure)* (p. 20). Paris: UNESCO.
- Vacas-Guerrero, T. (2005). Los espacios naturales protegidos: figuras de protección en España. *Actas del XIX Congreso de Geógrafos Españoles: Espacios Públicos, Espacios Privados*. Cantabria, España: Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Cantabria.

## Dirección institucional de los autores

Dr. Javier Senent-Aparicio  
 Dr. Julio Pérez-Sánchez  
 M.C. Alicia María Bielsa-Artero

Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)  
 Departamento de Ingeniería Civil  
 Avenida de los Jerónimos s/n  
 30107 Guadalupe, Murcia, ESPAÑA  
[jsenent@ucam.edu](mailto:jsenent@ucam.edu)  
[jperez058@ucam.edu](mailto:jperez058@ucam.edu)  
[ambielsa@ucam.edu](mailto:ambielsa@ucam.edu)