

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Máster universitario en Evaluación y Seguimiento  
Ambiental de Ecosistemas Marinos y Costeros

---



**“LA INFLUENCIA DE LOS CAMBIOS DE LOS  
USOS DEL SUELO EN LA CALIDAD DE LAS  
AGUAS DE LA BAHÍA DE CULLERA”**

**TRABAJO FINAL DE MÁSTER**

Autora:  
**Jacqueline Jaramillo Alvarado**

Doctor:  
**Miguel Rodilla Alamá**

**Gandía, 2013**

## RESUMEN

En este estudio se analizan los usos del suelo del municipio de Cullera y los cambios que han sufrido a lo largo del tiempo, desde los años ochenta hasta la actualidad. Además, se realiza una predicción de cómo evolucionarán en años futuros, teniendo en cuenta nuevos proyectos urbanizadores sobre la zona y los impactos de esas transformaciones sobre la calidad del agua de la Bahía. El desarrollo poblacional y su expansión en zonas costeras y estuarinas están degradando progresivamente estos ambientes con actividades como el turismo, la agricultura y la industria, las cuales generan efluentes que perjudican la calidad de las aguas. Esta bahía recibe las principales descargas del río Júcar y de las aguas residuales evacuadas por el emisario submarino. Durante la temporada estival los problemas se agravan por la multiplicación de la población, esto aumenta dramáticamente el volumen de agua residual descargada y se vierten los excedentes directamente al mar sin ser tratados. Por tanto, el impacto negativo perjudica a todo el ecosistema. Se produce un aumento de la concentración de nutrientes, lo cual da como resultado un agua contaminada y eutrofizada con tan baja calidad que amenaza el equilibrio ecológico, económico y social de la ciudad.

Palabras clave: calidad del agua, usos del suelo, aguas residuales, nutrientes, impactos.

## ABSTRACT

In this study is analyzed the land use of the municipality of Cullera and the changes that they have undergone over time, from the eighties to the present. Furthermore, it is done a prediction of how they will evolve in future years, taking into account new housing projects about the area and the impacts of those changes on the water quality of the Bay. Population development and its expansion in coastal and estuarine environments are degrading them gradually with activities such as tourism, agriculture and industry, which generate effluent that impair on water quality. This bay receives discharges mainly from the Júcar river and from the wastewater evacuated by the marine outfall. During the summer the problems are compounded by the rise of population, this dramatically increases the volume of the wastewater discharged and surpluses are dumped directly into the sea without treatment. Therefore, the negative impact damages the whole ecosystem. There is an increase in nutrient concentrations, which results in the contamination and eutrophication of water with such low quality that threatens the ecological, economic and social balance of the town.

Keywords: water quality, land use, wastewater, nutrients, impacts.

## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN .....	4
2. OBJETIVOS .....	6
3. ÁREA DE ESTUDIO .....	6
3.1 PLANEAMIENTO URBANÍSTICO .....	6
3.2 USOS DEL SUELO.....	7
3.2.1 USO NATURAL Y AGRÍCOLA .....	7
3.2.2 USO RESIDENCIAL .....	10
3.3 SANEAMIENTO .....	11
4. METODOLOGÍA .....	13
5. FUENTES Y SUMEDEROS DE CONTAMINANTES .....	14
5.1 ACTIVIDADES QUE ACTÚAN COMO FUENTES DE CONTAMINACIÓN.....	16
6. INFLUENCIA DE LA HIDRODINÁMICA Y LA BATIMETRÍA DE LA ZONA EN LA CALIDAD DEL AGUA .....	18
7. IMPACTOS.....	20
7.1 IMPACTOS AMBIENTALES .....	20
7.1.1 PROBLEMAS DE EUTROFIZACIÓN .....	20
7.1.2 DISMINUCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO.....	21
7.1.3 CAMBIOS EN LA POBLACIÓN DE FITOPLANCTON.....	21
7.1.4 CAMBIOS EN LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS .....	22
7.2 IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS .....	23
8. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO .....	24
8.1 DÉCADAS DE LOS 80' Y 90' .....	24
8.2 DÉCADA 2000-2010.....	27
8.3 ESCENARIO FUTURO .....	30
8.3.1 REPRESENTACIÓN DE LOS FUTUROS USOS DEL SUELO .....	32
9. RESULTADOS.....	33
9.1 SUPERFICIES TRANSFORMADAS.....	33
9.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS.....	35
9.2.1 SUELO AGRÍCOLA.....	35
9.2.2 FRANJA COSTERA .....	36

9.2.3 COMUNIDADES VEGETALES .....	36
9.2.4 ZONA DE L'ESTANY GRAN .....	37
9.2.5 MODIFICACIÓN DE LOS CAUDALES DEL RÍO JÚCAR .....	37
9.2.6 AUMENTO DE LA POBLACIÓN .....	41
9.2. 7 COMPORTAMIENTO DE LOS NUTRIENTES EN EL ESTUARIO DEL JÚCAR Y PLUMA.....	42
10. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE GESTIÓN.....	49
11. BIBLIOGRAFÍA .....	51

## 1. INTRODUCCIÓN

Los cambios producidos en el uso del suelo del municipio de Cullera a lo largo de los años, ha sido consecuencia de una ordenación territorial basada en el modelo urbanístico densificado fundamentada en el turismo residencial. Se generó nuevo suelo urbanizable, a costa de suelos agrícolas de alta productividad o de espacios de alto valor ambiental en la mayor parte de la franja litoral (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

Es por esto que Cullera, como zona costera turística, presenta marcadas variaciones estacionales. Durante la época estival incrementa su población entre 5 y 6 veces el número de habitantes (Mösso *et al.*, 2006), produciéndose incrementos de proporción similar de aguas residuales generadas y vertidas al mar. (Sierra *et al.*, 2007).

La degradación de la calidad de las aguas de zonas costeras más o menos protegidas desde el punto de vista hidrodinámico como la Bahía de Cullera, puede estar influenciada por los aportes continentales de influencia antrópica. La principal fuente de degradación es el tratamiento inadecuado de sus aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas (Sánchez-Arcilla, 2006).

Es por ello que esta zona está fuertemente influenciada por las descargas de las aguas residuales evacuadas por el emisario submarino y del río Júcar (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2006), además de generar impactos ambientales significativos sobre el ecosistema. (Yepes & Medina, 2007).

“El papel de los nutrientes aportados por los emisarios submarinos en los procesos bioquímicos se extiende a un área bastante extensa desde la zona de los vertidos, dando lugar a procesos de eutrofización y, ocasionalmente “blooms” de algas” (Mösso *et al.*, 2006).

Como es el caso de Cullera, “este problema se agudiza en zonas estuarinas y áreas costeras semicerradas como bahías y ensenadas, donde la excesiva entrada de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua ha llegado a convertirse en un serio problema de contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y marinas...” (Sánchez-Arcilla, 2006).

Precisamente esos problemas de eutrofización son los que han dado lugar a la acumulación de algas en la arena en las playas de Cullera (Rodilla & Villaplana,

2002). En los años ochenta ya se empezó a dar importancia a este tipo de problemas de calidad del agua. El 23/08/1989 se presentó una solicitud de comparecencia del Director General del Medio Ambiente, del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, ante la Comisión de Industria, Obras Públicas y Servicios, para informar sobre las causas que han originado la contaminación por dicha acumulación de algas rojas en algunas zonas costeras del mediterráneo, especialmente en Cullera. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2013).

La calidad del agua viene determinada por la conservación o no conservación de las propiedades del agua debida a la presencia de varias sustancias como nutrientes, sedimentos y contaminantes. (Nadal, 2010). Juega un papel fundamental en el balance ecológico, económico y social de las áreas costeras y estuarinas. Sin embargo, estas áreas han sufrido una progresiva degradación debida al aumento de esas sustancias introducidas en el sistema (Sierra *et al.*, 2007).

La presión que ejerce la actividad del ser humano sobre estos espacios naturales es enormemente devastadora a todas las escalas. Las costas españolas han sido víctimas de tal abuso y han resultado gravemente arrasadas por el “tsunami urbanístico” y la masificación del turismo. Densificar más la estructura urbana del municipio conlleva el perjuicio de varios factores ambientales y de los recursos naturales de la zona. (Jaramillo, 2012).

Aunque muchos de los recursos naturales costeros sean renovables, su capacidad regenerativa se mantiene sólo dentro de un límite impuesto por su propia población o dinámica ecológica. (Agüero *et al.*, 2007). La problemática ambiental ocasionada por la expansión urbana es la negativa afección de la calidad de las aguas.

Para poder gestionar cualquier espacio se debe intentar conseguir el equilibrio entre los tres pilares del desarrollo sostenible: la sostenibilidad medioambiental, la equidad social y el desarrollo económico. Si, es necesario un desarrollo pero no de cualquier manera. Es importante tener en cuenta el concepto de sostenibilidad en el camino hacia el crecimiento económico. (Jaramillo, 2012).

## 2. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis es explicar la variación de la calidad del agua de La Bahía de Cullera y la influencia de los cambios del uso del suelo, considerando fundamentalmente el tratamiento de las aguas residuales y el destino que tienen.

Además se pretende definir un escenario futuro para predecir la variación de la calidad del agua teniendo en cuenta los nuevos proyectos urbanizadores como el PAI de la Vega, PAI dels Marenyets y PAI del Brosquil.

Se parte de la hipótesis de que los cambios en el uso del suelo reflejarán una clara influencia en la calidad de las aguas de la Bahía debido a la gran presión urbanística, turística y agrícola de la zona.

## 3. ÁREA DE ESTUDIO

Cullera es un municipio situado en la ribera del río Júcar y junto a la costa mediterránea española, más concretamente en el Golfo de Valencia (39°9'58"N, 0°15'10"O).

El área de estudio abarca todo el municipio, se analiza la transformación de los usos del suelo que tienen influencia principalmente sobre la calidad de las aguas de la zona de La Bahía de Cullera.

### 3.1 PLANEAMIENTO URBANÍSTICO

Desde el año 1965 se aprobó el primer P.G.O.U. El modelo de desarrollo urbanístico seguido por el municipio de Cullera se caracteriza por una elevada edificabilidad en la franja litoral. Esto ha dado lugar a que el municipio haya sufrido una gran transformación y degradación del paisaje, la costa y el medio urbano.

El actual Plan General de Ordenación Urbana de Cullera fue aprobado por la Comisión Territorial de Urbanismo de Valencia el 19 de mayo de 1995 (publicado en el B.O.P. nº 152 de 28 de junio de 1995).

Dada la saturación del suelo urbano, este plan hace uso del suelo urbanizable para seguir llevando a cabo su actuación estratégica. “Uno de los objetivos de la redacción de este plan fueron la previsión de Planes Especiales de Saneamiento e infraestructuras (o de Proyectos de Urbanización), para el área de costa al Sur del Estany y en los alrededores de El Broquil, a fin de dotar de servicios mínimos a los núcleos dispersos existentes, que no reúnen condiciones objetivas para ser clasificados como suelo urbano”. (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

Son cinco los sectores que ejercen una fuerte influencia en el medio ambiente y que marcan las prioridades de la ordenación territorial de Cullera: Agricultura (ganadería y pesca), Industria y Construcción, Transporte, Energía y Turismo.

Respecto a la calidad de las aguas, el vigente Plan General ha tenido que hacer frente a dos problemas de carácter urbanístico:

- Problemas de capacidad reguladora en los depósitos y en la calidad del agua para abastecimiento.
- Mal estado de la infraestructura de saneamiento de la anterior depuradora durante todos sus años de actividad hasta el año 2000. Excepto en zonas servidas por la red de saneamiento (zona del casco antiguo y Bahía de Cullera hasta el Faro), se produjo el vertido de aguas pluviales y residuales al subsuelo y las acequias por insuficiencia del dimensionado de las redes de evacuación.

## 3.2 USOS DEL SUELO

### 3.2.1 USO NATURAL Y AGRÍCOLA

#### Zonas Húmedas Temporalmente Inundadas: Majal y Arrozal

“Este ambiente ocupa la mayor parte del territorio municipal, superando las 2.000 hectáreas, aunque las antiguas marjales se hallan destinadas en su práctica totalidad al cultivo del arroz, tanto al norte como al sur del río Júcar.” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

Estos terrenos inundables periódicamente, presentan dos tipos de cultivos distribuidos de tal forma que se pueden diferenciar tres grandes zonas:



### 1. Arrozales del Parque Natural de L'Albufera

Ecológicamente funciona como una marjal pero el uso que se le da es de tipo agrícola puesto que se trata de una zona de arrozal cultivada aunque se planea su transformación (de algunos sectores) a cultivos hortícolas por aterramiento o drenaje.

Esta área se encuentra incluida en el ámbito del Parque Natural de L'Albufera y está clasificada como suelo no urbanizable de protección especial.

Uno de los problemas que presenta la actividad agrícola en esta zona y que perjudica al medio, es la contaminación por el uso de fitoquímicos, que son arrastrados por las acequias procedentes de las huertas.

### 2. Arrozales del sur del Júcar

Estos arrozales presentan los mismos tipos de características de los anteriores pero se diferencian en que presentan un nivel de protección menor. Aunque estén incluidos en el catálogo de Zonas Húmedas, elaborado por la Conselleria de Medio Ambiente, no pertenecen a la zona de L'Albufera.

### 3. Huerta arbolada: Cítricos

Los cultivos de naranja se encuentran comprendidos entre la zona norte del municipio hasta el sur, distribuidos de forma paralela a la costa, justo detrás de las zonas residenciales.

Su cobertura también abarca las áreas correspondientes a las llanuras aluviales del río Júcar a ambos lados, ocupando una amplia extensión que limita con los cultivos de arroz.

## Zonas Húmedas Permanentemente Inundadas: Lagunas y Aguas Libres

### 1. Bassa de Sant Llorenç

Se trata de una pequeña albufera clasificada como suelo no urbanizable de protección especial que a lo largo de los años ha sufrido diversos aterramientos con el fin de ampliar el suelo agrícola.

Esta zona húmeda recibe, por escorrentía superficial o a través de las aguas subterráneas, los residuos de los productos fitoquímicos utilizados en esos campos agrícolas.

## 2. Río Júcar

“Único río de la Comunidad Valenciana que mantiene un caudal permanente hasta su desembocadura, aunque el tramo final se halla canalizado y antropizado en su mayor parte, el tramo situado aguas arriba del puente de la N-332, y en especial los meandros que constituyen el límite de término municipal con Sueca mantienen sus márgenes en condiciones naturales.” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

El río Júcar tiene una longitud de 427,5 km aproximadamente y el área de su cuenca es de 21578,5 km<sup>2</sup>. El último tramo de río es navegable y es el único puerto interior en la región de la Comunidad Valenciana. (González del Río *et al.*, 2007).

El agua disponible es principalmente usada para el abastecimiento de la población, industria y riego de cultivos. Este río está altamente influenciado por actividades humanas. Los embalses construidos a lo largo de la cuenca del río modificaron el régimen de flujo natural (González del Río *et al.*, 2007).

Este tramo se halla clasificado como suelo no urbanizable de protección especial por el planeamiento urbanístico.

“En relación con la contaminación de las aguas, la red de saneamiento en algunas zonas, sobre todo en las áreas industriales situadas a ambos lado del cauce, también contribuye a incrementar la contaminación en el tramo final.” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

## 3. Estany Gran

Es un lago abierto al mar situado al sur de la desembocadura del río Júcar y que se instala sobre la restinga arenosa que cierra el marjal de Cullera-Tavernes (Ayuntamiento de Cullera, 2001). Tiene una longitud aproximada de 2.300 metros y una profundidad máxima de 7,5 metros.

L'Estany es una zona húmeda a que actúa como sumidero de aguas subterráneas y aguas procedentes de las acequias de riego y escorrentía que circulan por el marjal. Está incluida en el Catálogo de Zonas Húmedas y es suelo no urbanizable de protección especial.

Sobre este ecosistema se producen varios impactos que afectan el medio, como son los vertidos de la zona urbana y de las acequias aledañas de los alrededores. Pero el que mayor perjuicio produce es la pesca deportiva que se realiza en la laguna.

#### 4. Ullals del Brosquil

Estas zonas húmedas del interior de la restinga son alimentadas por las aguas subterráneas del acuífero de la Plana. Su suelo está clasificado como no urbanizable de protección especial y es de dominio público marítimo terrestre. Pero se encuentra amenazado por la especulación urbanística de sus alrededores, suelo clasificado como suelo urbanizable programado.

### 3.2.2 USO RESIDENCIAL

Respecto a la zona urbanizada, ésta presenta tres tipos bien diferenciados; la zona residencial, que es donde la mayoría de la población habita (con diferentes densidades de población), la zona industrial y por último la zona de equipamientos (destinada a centros educativos, deportivos, oficinas gubernamentales, entre otras).

El uso global o dominante de esta zona es el residencial plurifamiliar aunque se permiten cualquier otro uso que manifiestamente compatibilidad con el uso dominante residencial asignado a esta zona, por compartir las tipologías edificatorias especializadas coherentes con la existente, y siempre que no queden situados en áreas sobre las que se establezcan limitaciones específicas.

A esta clase de ocupación del suelo se le pueden dar los siguientes usos residenciales:

- Locales industriales compatibles con la vivienda.
- Aparcamientos de uso público o privado.
- Uso Residencial comunitario.

- Uso Residencial Plurifamiliar: Se trata del uso global o dominante asignado por el Plan en esta Zona.
- Uso Comercial compatible con la vivienda.
- Hoteles, hostales, pensiones y apartamentos en régimen de explotación hotelera.
- Actividades recreativas.
- Dotacionales.
- En edificios mixtos con uso residencial.

### 3.3 SANEAMIENTO

Hasta el año 2000 el municipio de Cullera mantuvo en funcionamiento dos depuradoras de aguas residuales. Se localizaban, una de ellas en la zona del faro (trataba 288.000 m<sup>3</sup>/año) y la otra en L'Estany (trataba 15.000 m<sup>3</sup>/año).

En la actualidad y desde ese año, Cullera cuenta con nueva depuradora que se encarga de tratar la totalidad de las aguas residuales procedentes de las estaciones de bombeo de Fara, Racó II, Racó III y la de la margen izquierda del río.

La EDAR de Cullera es una estación depuradora que sólo trata aguas residuales de origen urbano, con una fuerte variación estacional. "El diseño de la EDAR está condicionado por las características del efluente a tratar, que corresponden a un agua típicamente urbana, sin contenido alguno que indique contaminación industrial." (Nadal, 2010).

En cuanto a los rendimientos de la planta, "se pueden considerar óptimos y cumplen con los requisitos marcados por la Directiva 91/271 CEE sobre vertidos de instalaciones de tratamientos de aguas residuales urbanas para la contaminación orgánica. Sin embargo, se aprecian problemas en la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), donde no se cumplen los requisitos exigidos por la legislación, tanto en concentraciones límite como en rendimientos depurativos". (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

"Los nuevos desarrollos urbanísticos previstos pueden significar un incremento de unos 7.000 m<sup>3</sup>/día (respecto al caudal previsto en el proyecto EDAR: 8.000 m<sup>3</sup>/día en

invierno y hasta 24.000 m<sup>3</sup>/día en verano), y la conexión de las zonas residenciales e industriales existentes al sur del río, actualmente sin infraestructura de saneamiento, significarán un incremento del caudal a tratar hasta aproximarse al caudal de diseño.” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

“La baja carga contaminante que se registra en el influente es síntoma de que existen infiltraciones de aguas limpias que se producen en diversos tramos de la red de saneamiento. Asimismo, se observa una elevada conductividad del agua bruta tanto en las mediciones de control como en la sonda instalada en la obra de llegada de la planta (conductividades del orden de 2.000-2.500  $\mu$ siemens/cm), indicativas de la presencia de aguas salobres en la red de alcantarillado.” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

El saneamiento de las aguas residuales de Cullera presenta problemas que radican en la deficiencia de la red de colectores a la hora de recolectar todas las aguas. Se producen filtraciones de aguas freáticas en sectores de la red debido a su mal estado. Además, en algunas zonas hay vertidos de acequias de riego que van a dar al mar, existen pozos ciegos y fosas sépticas; lo cual representa un grave problema que afecta la calidad de las aguas. “La falta de tratamiento adecuado y de red de colectores en estas áreas significa un claro incumplimiento de las determinaciones de la Directiva 91/271/CEE y del Real Decreto-Ley 11/ 1995, de 28 de diciembre.” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

La red de saneamiento también cuenta con un emisario submarino localizado poca profundidad de la bahía por el cual se vierten las aguas residuales. Su proximidad a la costa acarrea otros inconvenientes sobre la calidad de las aguas de la bahía (Sierra *et al.*, 2007), como se explicará posteriormente.

Otro problema añadido, es el excesivo incremento de la carga contaminante en las aguas residuales generadas durante los meses de verano. La ambientóloga Angélica Nadal (2010) defiende en su proyecto de la EDAR de Cullera que ésta presta un servicio a una población con una fuerte variación estacional. Una vez analizados los datos recogidos por la depuradora, diferencia entre “Temporada baja (Enero, febrero, noviembre y diciembre), Temporada media (marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre y octubre) y Temporada alta (agosto)”.

En la Tabla 1, se refleja dicha diferencia estacional con los datos del proyecto de la EDAR de Cullera de las aguas residuales tratadas entre la “Temporada baja” y la “Temporada alta” con sus respectivos parámetros de evaluación.

El caudal medio de agua tratada procedente de la ocupación turística y la carga de contaminante producidos, son claramente multiplicados en la temporada estival.

PARÁMETRO	VALOR TEMPORADA ALTA	VALOR TEMPORADA MEDIA	VALOR TEMPORADA BAJA
Población equivalente (habitantes)	100.000	80.000	33.333
Caudal medio diario (m <sup>3</sup> /día)	24.000	16.000	8.000
Caudal punta horario (m <sup>3</sup> /h)	1.800	1.200	600
Concentración DBO <sub>5</sub> (mg/l)	250	250	250
Carga contaminante DBO <sub>5</sub> (Kg/día)	6.000	4.000	2.000
Concentración S.S. (mg/l)	300	300	300
Carga contaminante S.S. (Kg/día)	7.200	4.800	2.400
Concentración NKT (mg/l)	50	50	50
Carga contaminante NKT (Kg/día)	1.200	800	400
Concentración P <sub>TOTAL</sub> (mg/l)	5	5	5
Carga contaminante P <sub>TOTAL</sub> (Kg/día)	120	80	40

Tabla 1. Datos de Proyecto de la EDAR de Cullera. (Nadal, 2010).

## 4. METODOLOGÍA

### Análisis de Datos

Para llevar a cabo este estudio evolutivo de cómo se ha visto afectada la calidad del agua a lo largo de los años y cuáles son los impactos ambientales sobre el ecosistema, se analizan los datos específicos, recopilados por otros estudios, en dos series: una para las décadas de los 80' y 90'; y la otra para la década 2000-2010.

Además se evalúan los cambios del caudal del río Júcar a partir de una base de datos, disponibles en la Confederación Hidrográfica del Júcar, desde 1911 hasta el año 2010.

### Análisis Cartográfico SIG

Empleando el programa informático de Sistemas de Información Geográfica Arc-GIS, se realiza un estudio de la evolución de los usos del suelo mediante fotos aéreas disponibles de un vuelo militar en el año 1991 y la ortofoto digital (1:5,000. Resolución

0,35m) del año 2010 del término municipal de Cullera. De esta manera se crea la base de datos (SIG) de los usos del suelo.

Una vez generada dicha información, se hace una predicción de un escenario futuro de ocupación de suelo y una estimación de las superficies transformadas. Con el fin de prever cómo afectarán los nuevos proyectos urbanísticos propuestos sobre La Bahía de Cullera (PAI de la Vega, PAI dels Marenyets y PAI del Brosquil) en la calidad del agua, se realiza la descripción y valoración de éstos.

## 5. FUENTES Y SUMEDEROS DE CONTAMINANTES

La Bahía de Cullera es un ejemplo de un ambiente con diversas fuentes y sumideros de sustancias contaminantes. Las descargas de estas sustancias muestran una fuerte variación estacional (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2007).

Representan las fuentes todas aquellas inyecciones de cargas de nutrientes y de contaminantes introducidas en la columna de agua de este sistema.

La bahía entera se comporta como un sistema semicerrado y es poco profunda, con un máximo de 15 metros de profundidad (Falco *et al.*, 2007), reteniendo muchas de las sustancias que a ella llegan. Por esto, el estuario se comporta como sumidero de sustancias cuando la hidrodinámica local contribuye a su difusión, por lo que se produce una acumulación en ciertas áreas (Sierra *et al.*, 2007).

Para entender estos procesos, se deben caracterizar las fuentes de nutrientes que entran al estuario, sus variaciones espaciales y temporales, y el grado en el que son afectados por las actividades humanas (Sierra *et al.*, 2007).

El estuario del río Júcar recibe la mayoría de nutrientes de todos los aportes en su cuenca hidrográfica y también por entradas de desechos antropogénicos (Sierra *et al.*, 2007). Por tanto, las principales fuentes de nutrientes que presenta este ambiente son las siguientes.

## - Descargas del río Júcar

Los gradientes en la calidad del agua entre el área de la desembocadura del río y las aguas más limpias fuera de la Bahía de Cullera muestran que la principal fuente de contaminación es el río Júcar. (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2007)

Los estuarios son importantes rutas de nutrientes desde la tierra al mar. Como los nutrientes pasan a través del estuario, se someten a varias transformaciones bioquímicas que afectan su distribución espacial. (Sierra *et al.*, 2007).

El flujo de salida de agua dulce hacia el mar sigue el típico patrón Mediterráneo con flujos relativamente altos desde octubre hasta mayo y bajos durante los meses del verano (Falco *et al.*, 2007).

El agua presenta grandes concentraciones de nutrientes debido a la explotación agrícola intensiva por el drenaje a lo largo de la cuenca del río, con su consecuente retorno de aguas “enriquecidas” con fertilizantes y pesticidas. Por otra parte, la descarga de las parcialmente tratadas aguas residuales domésticas e industriales de las poblaciones río arriba, también perjudican la calidad de las aguas aunque su nivel varía dependiendo de los períodos estacionales. (Sierra *et al.*, 2007).

“Por su parte, los compuestos nitrogenados presentes en el agua residual urbana se encuentran en forma de nitrógeno orgánico (urea y proteínas) y nitrógeno amoniacal. Con el tiempo, el primero es hidrolizado para formar más nitrógeno amoniacal, que se presenta en dos formas dependiendo de la temperatura y el pH: ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) y amoniaco ( $\text{NH}_3$ ). Posteriormente, parte del nitrógeno amoniacal es transformado por parte de las bacterias presentes en el agua residual en nitratos y nitritos” (Nadal, 2010). Sin embargo, es el fósforo el nutriente limitante en este sistema.

Un incremento en el suministro de nutrientes, sobre todo de los limitantes, a los estuarios estimula la eutrofización y causa “blooms” de fitoplancton y macroalgas, lo cual tiene un impacto ecológico negativo puesto que hace que la costa sea eutrófica. Este fenómeno fue muy recurrente durante toda la década de los años 80 y principios de los 90, produciéndose grandes acumulaciones de las algas rojas del género *Ceramium* en todas las playas de la Bahía de Cullera.

Este aumento de nutrientes está estrechamente asociado con cambios en el uso del suelo en la cuenca, sobre todo el desarrollo urbano y agrícola en expansión. En particular, la carga de nitrógeno derivada de la tierra en los estuarios ha incrementado recientemente a medida que el uso del suelo se ha intensificado en la cuenca.



### - Descargas del Emisario Submarino

El emisario submarino de Cullera actualmente no da servicio a la descarga de aguas residuales tratadas en la EDAR, solamente sirve para el alivio de aguas pluviales y para las aguas residuales que llegan a la red de pluviales en el sector del Faro. Es por eso que llegan al mar sin pasar por el proceso de depuración, particularmente en los meses de verano, cuando la población turística aumenta y en momentos de precipitaciones.

El pequeño tamaño de este emisario localizado cerca de la desembocadura del río, su proximidad a la costa y la poca profundidad de la bahía, empeoran el efecto de la calidad en el agua en esta área (Sierra *et al.*, 2007). Se produce una dilución de la descarga muy limitada y los contaminantes llegan a las playas. (Rodilla & Villaplana, 2002).

El incremento de la carga de nutrientes desde las entradas de aguas residuales, pueden deprimir los niveles de O<sub>2</sub> disuelto e induce estrés químico y contaminación bacteriana en los ecosistemas marinos. (Sierra *et al.*, 2007).

## 5.1 ACTIVIDADES QUE ACTÚAN COMO FUENTES DE CONTAMINACIÓN

Cullera presenta algunos problemas ambientales debido a determinadas características naturales y antrópicas que inducen una entrada directa de contaminantes en los ecosistemas fluviales y marinos.

Teniendo en cuenta el planeamiento vigente y los usos del suelo del municipio, se trata de tres actividades principales las que ejercen un efecto negativo sobre la calidad del agua. Se mencionan a continuación:

### - Actividades Agrícolas

Las actividades agrícolas en las llanuras circundantes, involucran grandes cantidades de nutrientes, detritus y pesticidas, los cuales son introducidos directamente al río Júcar y fluye hasta la bahía. (Sierra *et al.*, 2007).

La producción agropecuaria tiene unos profundos efectos en el medio ambiente en conjunto. Son una de principales fuentes de contaminación del agua por la fertilización, nitratos, fosfatos y plaguicidas.

La aplicación directa de pesticidas a las aguas superficiales se suele hacer para combatir pestes o plagas, descarga de aguas servidas o residuos industriales y escurrimientos en aguas de lluvia o regadío de pesticidas adsorbidos por los suelos.

Cuando los pesticidas son aplicados al suelo, dado que son prácticamente insolubles en agua, una cantidad muy pequeña es arrastrada por escorrentía hacia aguas subterráneas o superficiales.

La contaminación por fertilizantes se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua desde la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos. Los excesos de nitrógeno y fosfatos pueden infiltrarse en las aguas subterráneas o ser arrastrados a cursos de agua.

#### - Turismo

La industria turística de Cullera potenciada al máximo. La población de la ciudad es de 22.736 personas (Instituto Nacional de Estadística, 2013), pero se multiplica durante el verano.

Cullera tiene un problema con el exceso de aguas residuales generadas durante los meses de verano y la incapacidad de tratamiento por parte de la EDAR. Por tanto, el caudal medio de agua tratada procedente de la ocupación turística y la carga de contaminante producidos, son claramente multiplicados en la temporada estival (Nadal, 2010).

#### - Desarrollo Urbanístico

El incremento en la densidad poblacional lidera un dramático aumento del volumen de las aguas residuales domésticas que llega a la costa por el emisario submarino en algunas ocasiones sin tratamiento previo por falta de unas instalaciones capacitadas para depurar esas aguas.

Además, se considera que entre el 60% y el 90% del agua potable que se consume, es la que se convierte en agua residual. Estas aguas presentan una serie de contaminantes como materia orgánica (carbohidratos, grasas y aceites.) y nutrientes; principalmente fósforo y compuestos nitrogenados (Nadal, 2010).

#### - Actividades Industriales

Las actividades industriales de que se desempeñan en la zona a lo largo de toda la cuenca del río Júcar son vertidos a sus cauces y van a parar al mar. Los contaminantes vertidos dependen del tipo de industria variando así su composición y su afección ecológica.

En Cullera, el vertido de las aguas residuales de origen industrial y de talleres localizados a la margen derecha del río se realiza al río o al subsuelo puesto que carecen de red de alcantarillado y por tanto no reciben ningún tipo de tratamiento.

## 6. INFLUENCIA DE LA HIDRODINÁMICA Y LA BATIMETRÍA DE LA ZONA EN LA CALIDAD DEL AGUA

La entrada de agua dulce desde el río Júcar y el emisario submarino producen una pluma estuarina altamente contaminada en la región costera que es bastante influenciada por la hidrodinámica de la bahía. Sin embargo, la calidad del agua no depende solo de los patrones de circulación en la superficie sino también de toda la circulación marina en el cuerpo de agua donde la batimetría local tiene más influencia relativa. (Mösso *et al.*, 2007).

Los actores clave que influyen en la dispersión del contaminante son el viento y la hidrodinámica. El proceso de mezcla que gobierna la calidad agua costera es principalmente dirigido por el rango de mareas y la circulación costera causada por la transferencia de momento desde los vientos a las capas más altas del cuerpo de agua. (Mösso *et al.*, 2007). El viento, no las olas, son el principal actor hidrodinámico debido a la naturaleza topográfica de la Bahía de Cullera y esto es particularmente importante para los patrones de las capas superiores cerca de las corrientes de la costa y para el comportamiento de la pluma de agua dulce proveniente del río. (Mösso *et al.*, 2007).

Hay unas barreras laterales que dificultan los procesos naturales de convección y difusión, por tanto, el control de la calidad del agua sólo se puede hacer hasta cierto punto (Sánchez-Arcilla et al., 2007). Estas barreras se ilustran en un cabo y dos diques de la desembocadura del río Júcar.

- **Barrera Natural:** La bahía de Cullera es semicerrada. Por el norte está limitada por el cabo de Cullera, una masa rocosa que sobresale en el mar y por la parte sur de la bahía está abierta. (Sierra et al., 2007). Debido a la presencia del cabo, los vientos del sureste en la bahía hacen que el agua quede atrapada y estancada cerca del cabo. (Sánchez-Arcilla et al., 2007). Esto empeora la calidad del agua en la parte norte de la bahía por falta de renovación, lo que causa que esta zona se convierta en un sumidero de nutrientes, contaminantes y sedimentos. (Figura 1). (Sierra et al., 2007).

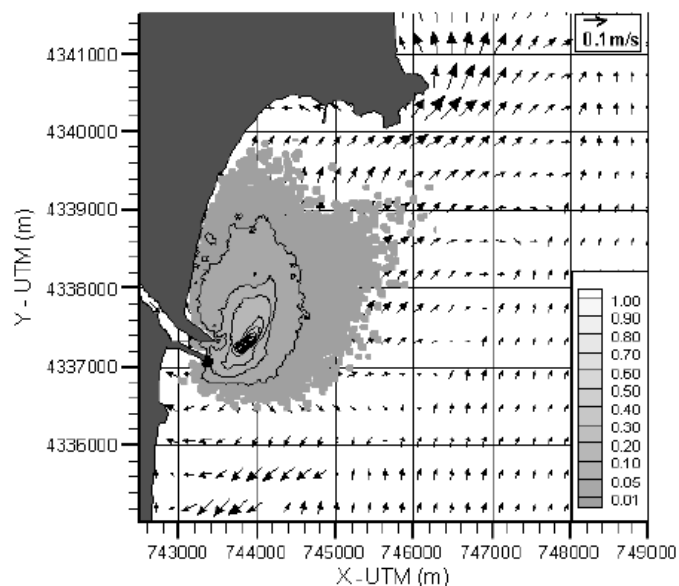


Figura 1. Simulación de la dispersión de la pluma del emisario bajo condiciones de verano. (Sierra et al., 2007).

- **Barreras Artificiales:** los diques representan un efecto barrera sobre el entorno que interrumpe la hidrodinámica natural.

La calidad del agua en la parte sur de la bahía, cerca del Júcar, la cual no ha sido afectada por la descarga de agua residual en ausencia de los diques, se empobrece debido a la interacción entre esas estructuras y las corrientes locales.

## 7. IMPACTOS

La calidad de las aguas en la región costera de Cullera está directamente relacionada con la deficiencia del proceso de mezcla de las aguas contaminadas y las aguas residuales continentales urbanas con las aguas más someras y profundas fuera de la costa. (Mösso *et al.*, 2007).

Cuando se produce la contaminación del agua no sólo se está alterando su calidad sino también una serie de factores ambientales y socioeconómicos alrededor de todo el ecosistema, los cuales dependen de dicho recurso hídrico. Se producen unos impactos que manifiestan cuál es la influencia de los cambios de los usos del suelo sobre la calidad del agua.

### 7.1 IMPACTOS AMBIENTALES

#### 7.1.1 PROBLEMAS DE EUTROFIZACIÓN

Unos de los principales contaminantes del agua son los nutrientes. El nitrógeno y el fósforo por ejemplo, son necesarios para el crecimiento de todos los seres vivos, pero en cantidades excesivas son perjudiciales. La consecuencia más común de la alta concentración de nutrientes es que da lugar a la eutrofización. Este es un grave problema de contaminación del agua que produce la variación de sus condiciones estándar de temperatura y luminosidad. A su vez provoca otro tipo de alteraciones físicas, químicas, biológicas y medioambientales del ecosistema acuático.

Niveles excesivos de nutrientes en las aguas costeras pueden sobrestimular el crecimiento de microalgas, por lo que se desencadena su proliferación exagerada (Mösso *et al.*, 2007). Esto tiene como efecto un incremento de turbidez, que a su vez produce la reducción de la penetración de luz en las aguas, perjudicando por ejemplo la producción primaria bentónica y se modifica la presencia de especies. Esto permite explicar la presencia de *Ceramium* de aguas más profundas en aguas más superficiales y su acumulación en las playas con los temporales de mar. Por otra parte, se restringe de la posibilidad de utilización del agua para fines recreativos, debido al lodo, infestación de malas hierbas y olores molestos producidos por la descomposición de las algas. (Nadal, 2010).

### 7.1.2 DISMINUCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO

Además de la eutrofización, la presencia de materia orgánica y sólidos suspendidos dan lugar a ciertas reacciones biológicas en las que se consume oxígeno. Por ejemplo cuando la materia orgánica se descompone, los procesos de descomposición consumen el oxígeno disuelto, lo cual es extremadamente perjudicial para los organismos acuáticos, así como afecta a su capacidad para respirar (Mösso *et al.*, 2007).

La biodegradación de los sólidos suspendidos también representa una disminución por gasto de oxígeno disuelto, a parte de formar una especie de lámina contaminante sobre el medio acuático (Nadal, 2010).

Muchas especies de flora y fauna marinas pueden morir cuando los niveles de O<sub>2</sub> disuelto caigan debajo de un umbral crítico (2-5 ppm) en condiciones de anoxia, llegando incluso a interrumpir la cadena alimentaria.

En cuanto a los compuestos nitrogenados contenidos en las aguas residuales, “el amoníaco y una excesiva concentración de nitratos son tóxicos para la vida acuática del medio receptor. Al mismo tiempo, la transformación del amonio en nitratos consume oxígeno, lo que unido a la presencia de materia orgánica puede reducir drásticamente el nivel de oxígeno del medio receptor” (Nadal, 2010).

### 7.1.3 CAMBIOS EN LA POBLACIÓN DE FITOPLANCTON

El fitoplancton es una comunidad de organismos de vida libre en suspensión, principalmente fotosintéticos que habitan los sistemas acuáticos. Incluyen organismos como cianobacterias y algas.

En el estudio realizado con datos recopilados entre los años 2002-2003, por González del Río *et al.*, (2007) demuestran que la influencia del agua dulce y de la carga de nutrientes ha generado un descenso en la densidad de fitoplancton eucariótico y la aparición de organismos que si se adaptan.

La distribución de la biomasa en el estuario y la pluma del río se ve afectada por factores como el exceso de salinidad, disponibilidad de nutrientes, luz, temperatura y consumo de zooplancton. (González del Río *et al.*, 2007).

Se distinguen los siguientes grupos de fitoplancton que presentan una gran sensibilidad a la alteración de la calidad del agua:

- Cianobacterias: disminuyen por aumento de salinidad.
- Algas verdes de la clase Chlorophyceae: disminuyen por aumento de salinidad.
- Picocianobacterias: proliferan por aumento de salinidad.

En los ambientes costeros micromareales, los estuarios están altamente estratificados con una cuña salina que claramente se distingue del agua dulce. La haloclina se localiza entre éstas dos capa.

El aumento de salinidad influencia la composición, producción y mortalidad de especies de fitoplancton. (González del Río *et al.*, 2007). Estas variaciones de salinidad están acompañadas por la variación inversa en contenido de nutrientes.

Cuando disminuye la salinidad por la entrada de agua dulce en el ambiente marino, se interrumpe la producción primaria y obstaculiza su renovación a través del tiempo en el cual la influencia fluvial domina. (González del Río *et al.*, 2007).

#### 7.1.4 CAMBIOS EN LAS COMUNIDADES BENTÓNICAS

La fauna bentónica ha sufrido cambios y perturbaciones en su ambiente marino que han afectado especialmente a especies de poliquetos y bivalvos. En las comunidades bentónicas los poliquetos son las especies más abundantes y los bivalvos son los que presentan mayor biomasa. (Martí *et al.*, 2007).

Según refleja estudio de los datos de 2002-2003 realizado por Martí *et al.*, (2007), su abundancia y distribución puede estar influenciada por varios tipos de parámetros:

- Parámetros físicos-químicos como la composición del sustrato, temperatura del agua, pH, concentración de oxígeno disuelto, nutrientes y materia orgánica; y la hidrografía.
- Parámetros biológicos en lo referente a la producción primaria, competición y adaptación.

- Parámetros temporales dependientes de las variaciones invierno-verano. Las comunidades bentónicas disminuyen considerablemente con el aumento de la población siempre en verano.

La abundancia de bivalvos es menor a pocas profundidades debido a la poca renovación de agua y su mala calidad. Las especies más características son el *Donax trunculus*, *Donax semistriatus* y *Spisula subtruncato* (Martí *et al.*, 2007). La densidad total es representada por estas tres especies, cada una perteneciente a una profundidad específica. *Donax trunculus* debería ser la especie dominante en áreas poco profundas (-1 metros), pero desaparece de las playas en el verano, debido a su poca tolerancia a la variación de la calidad del agua.

Por otra parte, la abundancia de poliquetos también está marcada por la fluctuación estacional pero éstos disminuyen en los meses de invierno. Los poliquetos presentan una considerable disminución de su densidad en invierno con especies como *Dispioucinata*, *Prionospio carpersi* y *Scoletoma impatiens* (Martí *et al.*, 2007), también habitan a bajas profundidades y poco estructuradas. A más profundidad las poblaciones suelen ser más complejas.

Por tanto, se produce una degradación y sustitución de unas determinadas especies que se ven perjudicadas por los cambios de la calidad del agua y se produce la aparición de otras que si se adapta, casando así una perturbación del ecosistema.

## 7.2 IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS

La evaluación del desempeño socioeconómico en las zonas costeras claramente está relacionada con la calidad de las aguas. Si ésta no presenta las condiciones adecuadas puede llegar a afectar negativamente la población residente y turística de la zona, además a las actividades económicas de las que depende el municipio. (Agüero *et al.*, 2007).

Desde una perspectiva económica y social, los ecosistemas costeros y los recursos naturales y ambientales asociados, son proveedores de bienes y servicios que satisfacen las necesidades humanas (Agüero *et al.*, 2007). Por tanto, el funcionamiento de un ecosistema es modelado por la interacción de diversos factores como los biológicos, ambientales, económicos, tecnológicos y sociales.



Sectores dependientes de la calidad del agua:

- Turismo: la ciudad de Cullera depende económicamente del turismo de sol y playa durante los meses de verano. Si la calidad de las aguas no es apta para el baño de los turistas se producirían unas pérdidas económicas incalculables.
- Pesca: La pesca artesanal de bivalvos es una actividad económica muy importante para la Bahía de Cullera. Como se ha comentado antes, las comunidades bentónicas se ven perturbadas por las variaciones de la calidad de las aguas. Este es un ejemplo pero hay más organismos acuáticos que resultan afectados.
- Desarrollo urbanístico: un crecimiento de la población significa la generación de un mayor volumen de desechos domésticos y aguas residuales. El actual sistema de saneamiento apenas da abasto con la población existente y no trata todas las aguas en verano. Por tanto las aguas contaminadas llegarían a parar directamente al mar. Sería necesaria la mejora de las plantas de tratamiento para que a su vez incremente los beneficios socioeconómicos por optimización de la calidad del agua, lo que también conllevaría a la mejora del bienestar social.

## 8. ANÁLISIS DE LOS CAMBIOS EN LOS USOS DEL SUELO

A continuación se realizará el estudio de la evolución de los usos del suelo para las décadas de los 80' y 90', la década 2000-2010 y se predecirá un escenario futuro. Así se podrá observar qué cambios importantes son los que han influido en la calidad del agua y en qué medida, estableciendo la variación temporal.

### 8.1 DÉCADAS DE LOS 80' Y 90'

Ya desde de la década de los años sesenta aparecen las primeras edificaciones en la zona costera. Una vez aprobado el Plan General de Ordenación Urbana 1965, "la actividad inmobiliaria y el desarrollo de infraestructuras y servicios se dispara en la zona de la playa, sustituyendo así al tradicional paisaje de campos de cultivo que

caracterizaba hasta este momento al litoral de Cullera. Es el inicio de la duplicidad de centros urbanos que afecta al municipio.” (Giner, 2011).

Pero es a principios de la década de los ochenta cuando “se produce la consolidación del desarrollismo iniciado por el PGOU y complementado con diferentes Planes Parciales. La zona de la playa se convierte en un lugar de segunda residencia tanto para los cullerenses como para la población de la comarca y de otras zonas de España. Las zonas rurales del término municipal de Cullera alejadas de la playa escapan a la alteración de la primera línea de litoral, y se mantienen como el lugar de descanso de la población de Cullera.” (Giner, 2011).

Durante las dos décadas de los ochenta y noventa se produce “la fase de expansión de la construcción de la primera hacia la segunda línea de playa, agudizando de esta forma el efecto paisajístico y ambiental producido por la verticalidad y espontaneidad del desarrollo de los inmuebles.” (Giner, 2011).

En 1995 se aprueba la modificación del Plan General de Ordenación Urbana y se continúa con la expansión del suelo residencial.

Ya en estas décadas se definen los usos que se le dan al suelo del municipio de Cullera son el natural, agrícola, residencial e industrial. Como se puede observar en las Figura 2, el uso del suelo del territorio divide entre las partes urbanizadas y las no urbanizadas. Las zonas no urbanizadas, son las que ocupan la inmensa mayoría del territorio y corresponden a los cultivos agrícolas y a las comunidades vegetales. En la zona litoral se pueden apreciar, aunque en menor medida, la línea de playas y dunas.

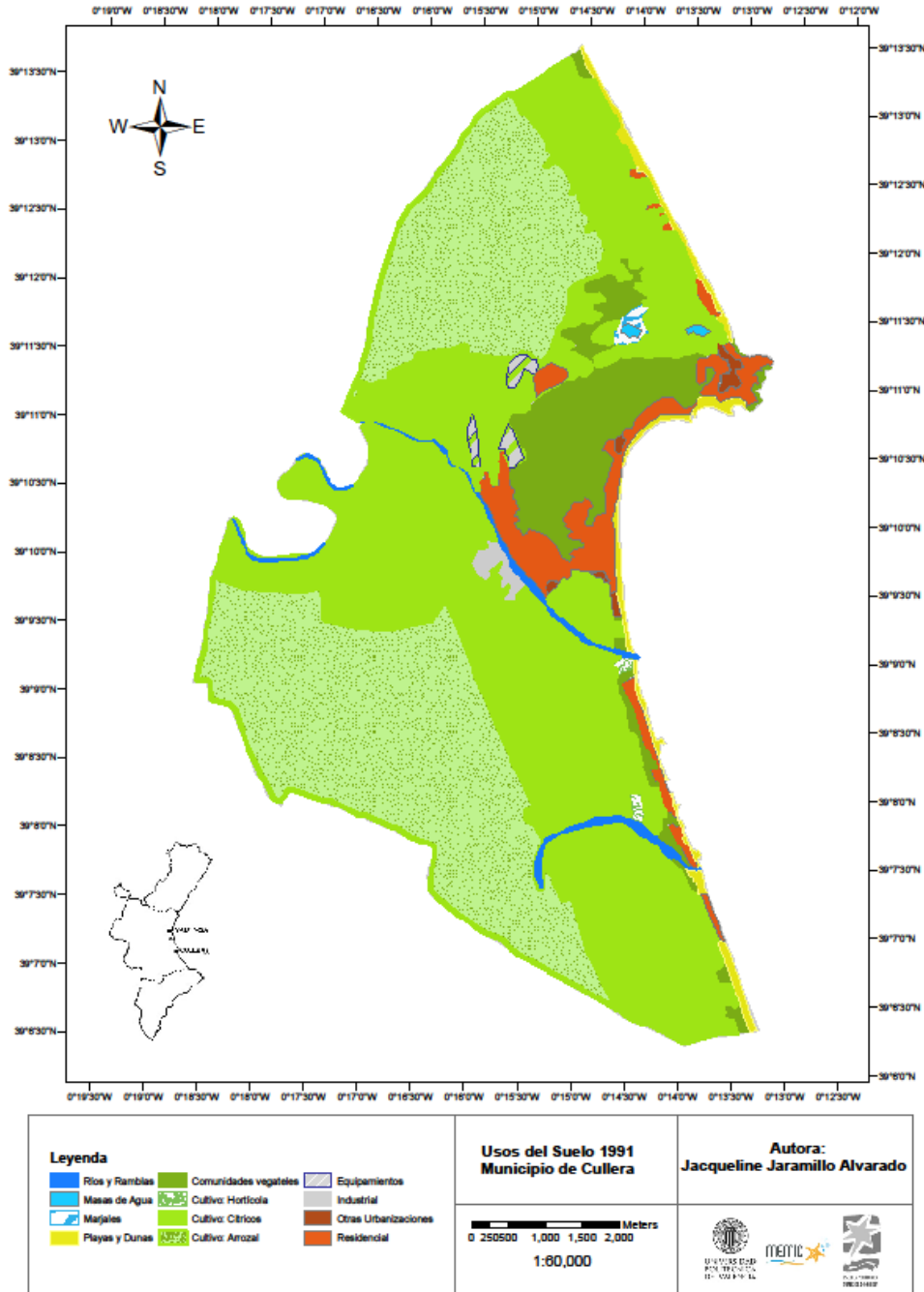


Figura 2. Mapa de usos del suelo en 1991 del municipio Cullera.

## 8.2 DÉCADA 2000-2010

Durante la década de los 2000-2010, “se mantiene el crecimiento inmobiliario intensivo en la proximidad de la franja litoral de municipio, hacia los extremos del mismo, alejándose así de la zona principal de San Antonio; se fomenta la construcción de carácter extensivo hacia zonas periféricas del municipio, acompañada de zonas comerciales y servicios.” (Giner, 2011).

Como se observa en la Tabla 2, según la clasificación del suelo en el año 2001, el uso que ocupa menos territorio es el residencial. El suelo no urbanizable es el que mayor importancia domina y está representado por el uso agrícola.

Clasificación del suelo	Has.	%
SUELO URBANO	388,18	7,21
SUELO URBANIZABLE PROGRAMADO	147,83	2,74
SUELO URBANIZABLE NO PROGRAMADO	99,30	1,84
SUELO NO URBANIZABLE	4.752,07	88,21
SUPERFICIE TERMINO MUNICIPAL	5.387,38	100,00

Tabla 2. Categorías de clasificación del suelo del término municipal de Cullera. (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

Los usos del suelo predominantes en los primeros 500 metros costeros son el suelo agrícola y el natural, en comparación al suelo ocupado por actividades residenciales. Esta disparidad es debida a que el desarrollo urbanístico se encuentra altamente concentrado en una estrecha franja a lo largo de la costa.

El Gráfico 1 representa la concentración de la actividad residencial en los primeros 500 metros. En cambio, entre los 500 y 1.000 metros el sector predominante es el agrícola.

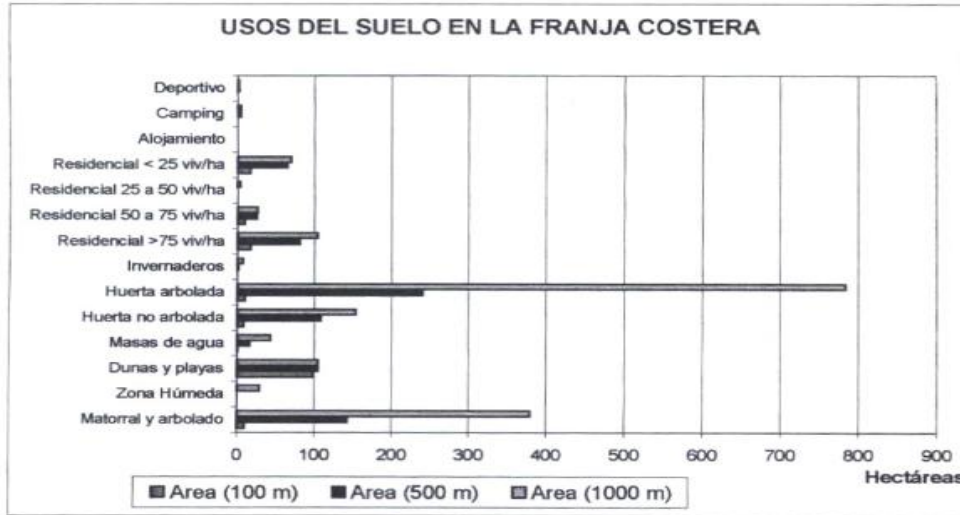


Gráfico 1. Usos del suelo en las franjas de 100, 500 y 1.000 metros (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

En el Gráfico 2 se refleja el grado de ocupación del suelo en la franja costera. Se analizaron varios tramos de la línea de costa que es la que presenta mayor densidad de uso y es la zona que representa mayor conflicto entre los usos tradicionales y los relacionados con la expansión turística.

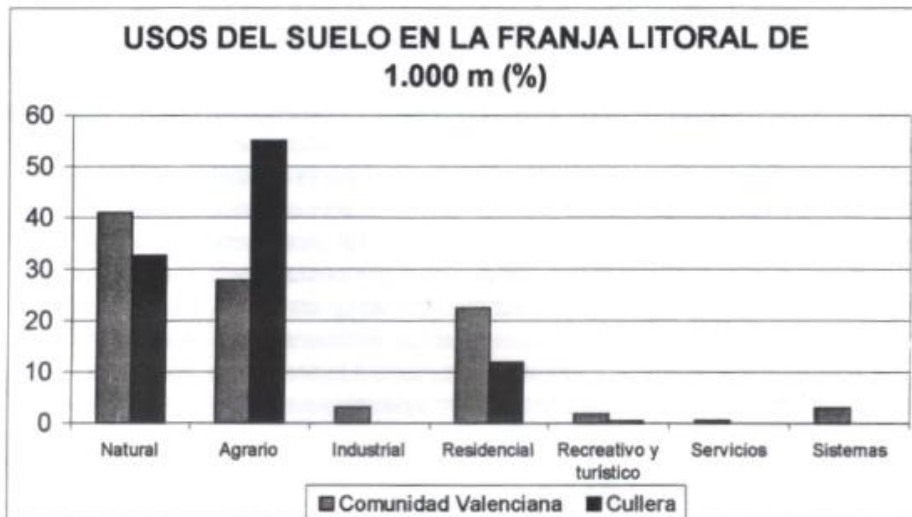


Gráfico 2. Usos del suelo en la franja litoral de 1000 metros paralelas a la línea de costa. (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

Así pues, la ocupación territorial de toda esta década queda reflejada en el mapa de usos del suelo correspondiente al año 2010 (Figura 3).

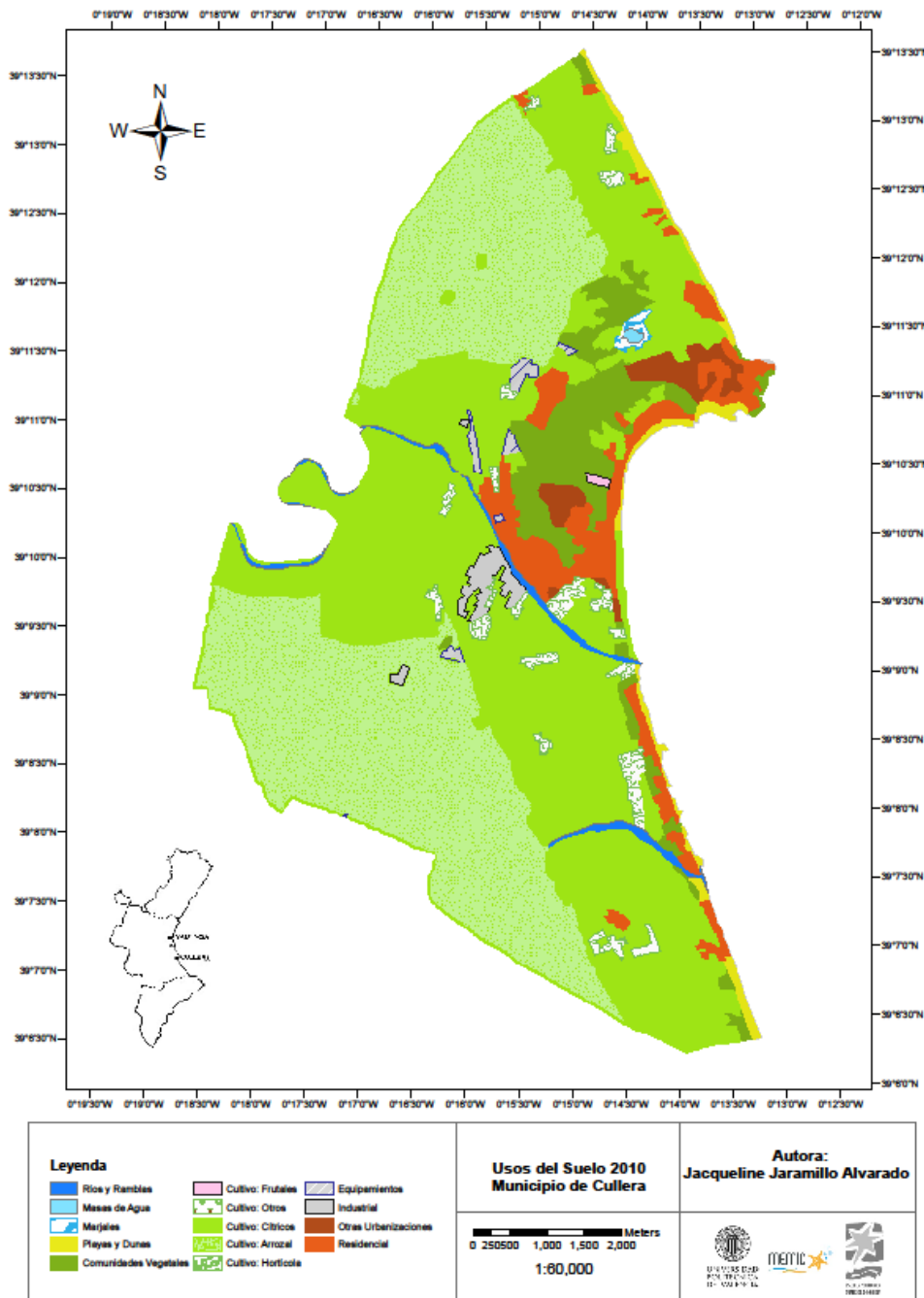


Figura 3. Mapa de usos del suelo en 2010 del municipio Cullera.

### 8.3 ESCENARIO FUTURO

Los cambios en el uso del suelo, primordialmente en zonas naturales y de ocupación agrícola, provocados por el abuso de la excesiva “permisividad edificatoria” causarán a medio y largo plazo un impacto ambiental negativo sobre el medio. Sobre todo y como se estudia en este proyecto, afectará a la calidad de las aguas de la Bahía de Cullera.

La definición de este escenario se fundamenta en la integración de nuevo suelo residencial en el municipio. Se apuesta por grandes proyectos urbanizadores para la ciudad con el denominado Programa de Actuación Integrada y se piensa aprovechar esta zona de actuación para “realizar una ordenación urbanística más acorde con las nuevas tendencias en la oferta turística” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

Por tanto, se proyectan tres de estos planes con emplazamiento a orillas del río Júcar y de L'Estany Gran de Cullera: PAI de la Vega, PAI del Brosquil y PAI del Marenyet. Proyectos ya contemplados por la modificación del Plan General de Ordenación Urbana de Cullera.

- PAI de la Vega

El PAI de la Vega, apodado como el 'Manhattan de Cullera', consiste en “la parcelación de 610.340 m<sup>2</sup> para la construcción de 33 torres de 25 alturas y 2 torres de 40 alturas, que supondrán 4.883 nuevas viviendas (1.171 de protección pública) y 5 nuevos hoteles que aportarían 2.200 nuevas plazas hoteleras. Por otro lado, el proyecto contempla 98.000 m<sup>2</sup> de zonas verdes, 10.000 nuevas plazas de aparcamiento (1.000 subterráneas), un nuevo puerto deportivo, un palacio de congresos, dos colegios, un auditorio al aire libre y una nueva oficina de información turística.” (Díez & Gandía, 2011).

Clasificado como suelo urbanizable no programado, el sector NPR-5 Vega Puerto de Cullera “se encuentra situado en la margen izquierda del río Júcar, cerca de su desembocadura. Los límites del Sector son al Norte la Avenida Diagonal, al Sur el río Júcar, al Este la Avenida Enrique Chulio y mar Mediterráneo y al Oeste la calle Joan Fuster.” (Ayuntamiento de Cullera, 2003).



Figura 5. Localización PAI de la Vega. (Ayuntamiento de Cullera, 2003).

En cuanto a la red de saneamiento, que es lo que más incumbe a la calidad de las aguas, “se proyecta una red de tipo separativo, que conducirá las aguas residuales a la estación de bombeo de aguas residuales ubicada en la UE 41/4 de la Vega-Oeste, desde la cual se impulsan hasta la estación depuradora de aguas residuales.” (Ayuntamiento de Cullera, 2003).

- PAI del Brosquil y PAI del Marenyet

El proyecto consiste en urbanizar los sectores del Marenyet y del Brosquil Norte con la construcción de casi diez millones de metros cuadrados con 19.000 viviendas, varios campos de golf y una marina. (levante-emv).

“La superficie total del sector Brosquil Norte es de 149.599 metros cuadrados al sur de l'Estany y en esta urbanización se prevé la construcción de más de 680 viviendas. Se trata de un proyecto urbanístico que fue aprobado en el año 2001 y recibió el respaldo de la Comisión Territorial de Urbanismo en octubre de 2005.” (levante-emv).

La localización de ambos proyectos tendría lugar al sur del término municipal entre la margen derecha de la desembocadura del río Júcar y los límites con el municipio de Tavernes de la Valligna, incluyendo además l'Estany.



“Únicamente la clasificación de suelo urbanizable programado del sector meridional del litoral municipal (PRR.8 a PRR.11 en El Brosquil) y la orilla derecha del río (PRR.5 en El Marenyet) supone la incorporación de una importante superficie que afecta a suelo agrícola.” (Ayuntamiento de Cullera, 2001).

### 8.3.1 REPRESENTACIÓN DE LOS FUTUROS USOS DEL SUELO

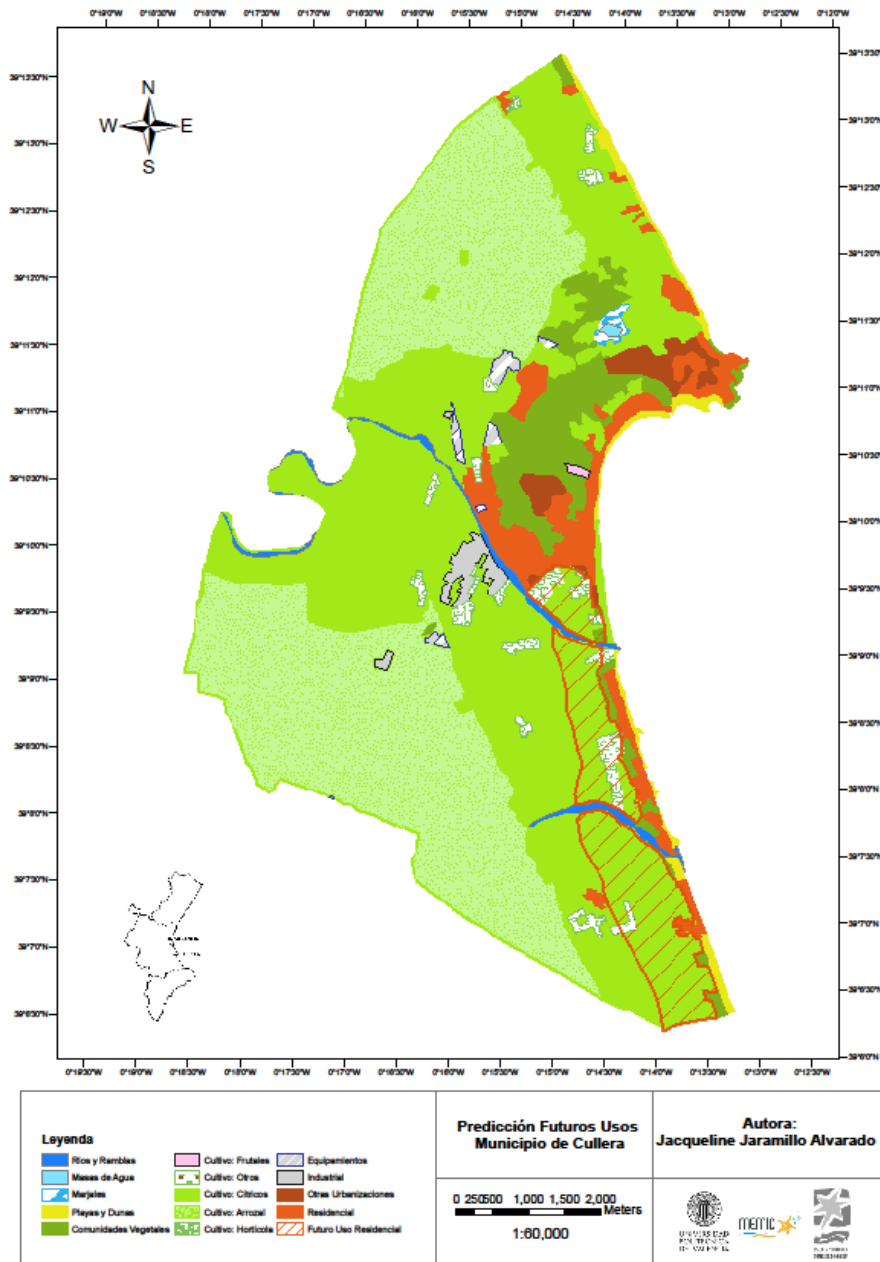


Figura 4. Mapa de la predicción de futuros usos del suelo del municipio Cullera.

Teniendo en cuenta los proyectos urbanizadores anteriormente descritos, se ha realizado una representación de cómo quedaría la distribución de las superficies de los futuros usos del suelo. Se marca una evidente multiplicación de la superficie de suelo residencial detrás de la franja litoral en una amplia área que abarca desde la zona circundante a la desembocadura del río Júcar, bordeando con los arrozales por el oeste y terminando en el límite del municipio. (Figura 4).

## 9. RESULTADOS

### 9.1 SUPERFICIES TRANSFORMADAS

En este apartado se representan las superficies del suelo que han sido transformadas a lo largo de los años. Se calcularon las áreas (ha) correspondientes a los polígonos que representan dichos usos en las Figuras 2,3 y 4.

Se trabajó con una base de datos procesados por un programa informático de sistemas de información geográfica (Arc-GIS) a partir de las capas disponibles para el año 2010; y las generadas para el año 1991 y la predicción de años futuros (Tabla 3). Por tanto, para éstas dos últimas series de datos, se ha realizado una estimación aproximada del área que ocupa cada tipo de uso del suelo para poder valorar cuál ha sido la evolución de la ocupación del suelo en el municipio.

USOS DEL SUELO	USOS 1991 (ha)	USOS 2010 (ha)	FURUROS USOS (ha)
Ríos y Ramblas	70,643	70,347	70,321
Masas de Agua	6,137	3,652	3,652
Playa y Dunas	89,675	90,937	90,937
Marjales	12,495	12,495	12,495
Cultivo: Hortícola	31,320	113,473	98,083
Cultivo: Arrozal	2040,887	2040,887	2040,887
Cultivo: Cítricos	2377,755	2193,762	2105,217
Cultivo: Otros	2,195	9,582	6,959
Comunidades Vegetales	377,998	351,673	349,173
Industrial	20,694	55,222	55,222
Equipamientos	8,559	29,833	29,833
Residencial	311,440	322,347	431,431
Otras Urbanizaciones	32,934	88,523	88,523
ÁREA TOTAL	5382,732	5382,732	5382,732

Tabla 3. Superficies transformadas de usos del suelo para los años 1991 y 2010; y la predicción de ocupación de los futuros usos municipio de Cullera.

Las superficies transformadas entre los años 1991 y 2010 muestran una variación fundamentalmente en el suelo agrícola, natural y urbano. Los cultivos de cítricos han experimentado una reducción de su territorio para dar cabida a: otros tipos de cultivos (principalmente el hortícola), zonas industriales, equipamientos y por supuesto, a la expansión residencial sobre la franja costera.

Respecto a la disminución del suelo natural, la superficie de las comunidades vegetales se ha visto afectada por también por incremento del uso residencial, pero sobre todo por el de clasificado como de “otras urbanizaciones” en la zona noreste del municipio.

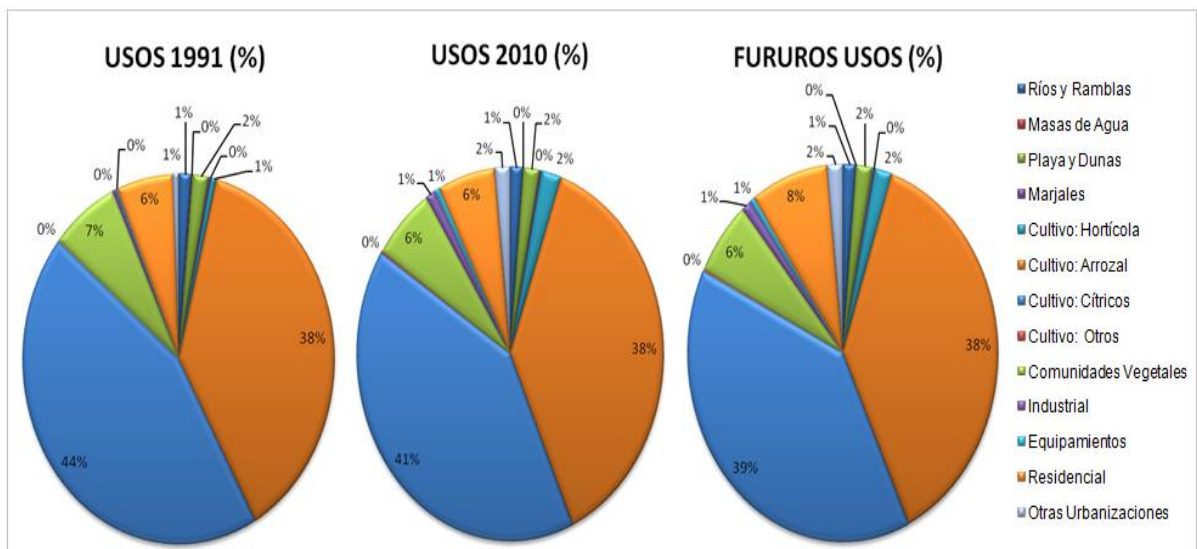


Figura 5. Porcentajes de la evolución de usos del suelo en el año 1991, 2010 y la predicción de futuros usos municipio de Cullera.

La evolución de cada superficie en cuanto a la predicción en años futuros, experimenta un claro desarrollo de la ocupación residencial, como se describirá en el siguiente apartado, debido a la edificación de nuevas urbanizaciones. Al aumentar el porcentaje de dicha área se reduce el de otras como comunidades vegetales y cultivos de tipo agrícola y hortícola esencialmente. (Figura 5).

## 9.2 DESCRIPCIÓN DE LOS CAMBIOS

A continuación se describen las zonas donde principalmente se ha producido la transformación. El uso del suelo de Cullera ha sido basado tradicionalmente en la agricultura con la clara dominancia de cultivos de arroz y naranjos, aunque paulatinamente a lo largo de los años ha ido cediendo terreno en favor de un importante desarrollo urbano.

El resto del territorio apenas ha sufrido alteraciones a lo largo de los años, salvo en relación con dicha expansión del casco urbano y manteniéndose el absoluto predominio de las actividades agrícolas.

### 9.2.1 SUELO AGRÍCOLA

Ya desde 1971, cuando se aprobó un plan de Mejoras Territoriales y Obras, hasta la actualidad se ha ido llevando a cabo una transformación sobre el suelo agrícola. Primero, con el objetivo de adecuar la zona con caminos y desagües, se empezaron a hacer actividades de desecación de la marjal. Esto dio pie a que algunos terrenos estuvieran disponibles y se edificaran las primeras zonas residenciales para la población del municipio. (Burguet *et al*, 1988).

Referente a la expansión urbana, cabe resaltar el desarrollo de las edificaciones residenciales dispersas en el medio rural y la ocupación de suelo por algunos equipamientos. En otras zonas más localizadas, se presentan cambios de uso al pie de la Montaña al norte de esta. Se ha ocupado el suelo agrícola para dar cabida a una zona residencial. En ese mismo sector, se han intensificado las zonas de usos correspondientes a “otras urbanizaciones” y también al este de la montaña.

La transformación continúa con el desarrollo del suelo industrial por la zona central del municipio en la margen inferior del Júcar, lo que indica el aumento de otra la actividad humana que contamina el agua.

En cuanto a la evolución de los cultivos, entre las dos Figuras 2 y 3, se aprecia que ha habido una diversificación de estos. Los cultivos que se han aumentado son los de tipo hortícola tanto al norte de río Júcar como al norte de L'Estany, además de expandirse también a lo largo del municipio en forma dispersa entre los cultivos de cítricos.

Por último, se observa la desaparición de masas de agua propias de zonas húmedas, como afloramientos de agua dulce sobre la superficie que en el año 1991 (Figura 1) estaban presentes al norte del municipio, casi cercanos a la franja litoral.

### 9.2.2 FRANJA COSTERA

El uso del suelo ha sufrido una sus principales modificaciones en la franja litoral debido a la expansión del uso residencial (donde se concentra la mayoría de población del municipio) precisamente por el desarrollo del sector turístico, sobre todo por la potenciación del de tipo residencial.

“El resultado fue la actual configuración urbana de Cullera, caracterizado por la dualidad costa-pueblo y la aparición de núcleos turísticos de segunda residencia diseminados a lo largo de todo el término municipal que responden a las necesidades de expansión de cada etapa por la que ha atravesado el municipio. De esta forma podemos destacar, al margen de la zona de San Antonio como principal centro turístico de Cullera, la zona del Dospel, Racó y Faro, caracterizada por la combinación de construcciones intensivas en altura y extensivas, y la zona del Brosquil, Estany y Marenyet, donde domina el desarrollo inmobiliario extensivo de baja altura y se combina el uso turístico con la residencia habitual” (Giner, 2011).

### 9.2.3 COMUNIDADES VEGETALES

Este suelo clasificado como vegetal, en la zona de la montaña de los Zorros o más bien conocida como la “Montaña de Cullera”, ha sufrido una transformación en la pendiente oeste. Aún no se encuentra edificada dicha zona pero ya cuenta con la reclasificación apropiada para el uso residencial y está provista con toda la red de equipamientos necesarios.

A lo largo de toda la franja litoral hay dispersas varias concentraciones de comunidades vegetales que han visto reducida su superficie para dar paso ya sea a cultivos de cítricos o uso residencial.

#### 9.2.4 ZONA DE L'ESTANY GRAN

La evolución que ha tenido esta laguna y sus alrededores no obedece a una precisamente a procesos naturales, sino que responde a una marcada influencia humana a lo largo del tiempo. “La línea de costa que había permanecido relativamente intacta en comparación con la marjal, experimenta en la actualidad las modificaciones más espectaculares, a las que no ha escapado ni el propio Estany. A este aspecto, cabe señalar la canalización de su desembocadura a finales de los años 70.” (Burguet *et al*, 1988).

A parte de la apertura al mar, L'Estany ha sufrido otro cambio importante. Entre los años 1991 y 2010, fue desecado un tramo de su cauce justo en el límite entre los cultivos de cítricos y el arrozal.

#### 9.2.5 MODIFICACIÓN DE LOS CAUDALES DEL RÍO JÚCAR

Los cambios en los caudales del río Júcar se han producido desde principios del siglo XX, según fuentes de la Confederación Hidrográfica del Júcar. En este apartado se representa la siguiente temporalidad de datos: caudales medios diarios por año, caudales máximos instantáneos de cada mes y anual; y caudales máximos y mínimos medios de cada mes. Los datos recopilados se tomaron de dos estaciones de aforos:

1. Estación Río Júcar en Cullera (8049): localizada en el municipio Cullera de la provincia de Valencia y con coordenadas XUTM30: 735540, YUTM30: 4340365, en la subcuenca del Bajo Júcar. El año inicial de la serie de datos de los caudales es 1911 y el año final 1995.

2. Estación Huerto Mulet (8089): localizada en el Municipio Algemesí de la Provincia de Valencia y con coordenadas XUTM30: 723807, YUTM30: 4341072 en la subcuenca del Bajo Júcar. El año inicial de la serie de datos de los caudales es 1946 y el año final de 2009.

La representación de los caudales medios diarios (Gráficos 3 y 4) enseña varias fluctuaciones para ambas series de datos correspondientes a las dos estaciones. Aun con valores fluctuantes, puede valorarse la reducción que ha sufrido el volumen medio diario de agua que arrastra el río hasta la actualidad. Esto indica que diariamente a lo largo de todos esos años ha habido menos aportación de agua dulce en el ecosistema estuarino, lo que también causará cambios en su ecología.

Precisamente desde la década de los ochenta es cuando se empieza a hacer visible la reducción de los caudales medios diarios del río Júcar hasta el año 2010. Dada la modificación de dichos caudales y de los cambios del uso del suelo, se puede decir que durante estos años llega a la bahía menos volumen de aguas pero con mayor carga de contaminante.

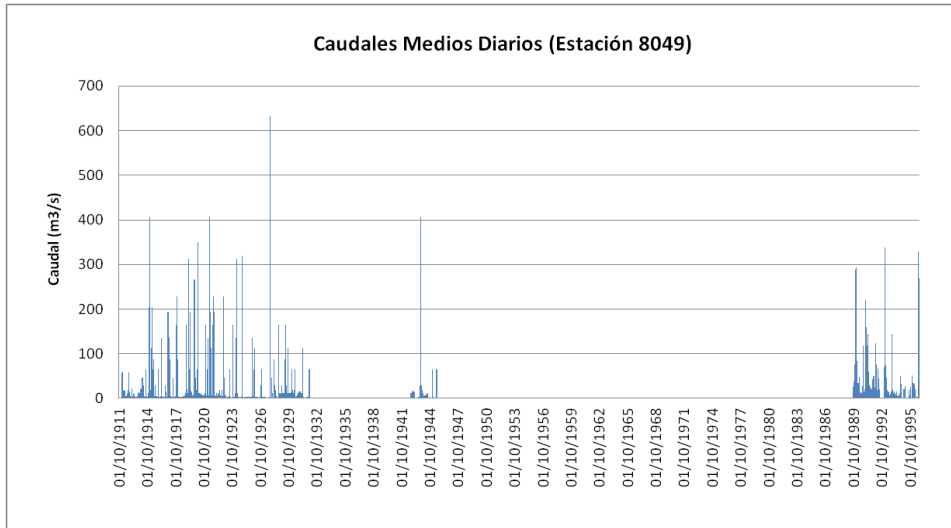


Gráfico 3. Caudales medios diarios, Estación Río Júcar en Cullera (Fuente de datos: Confederación Hidrográfica del Júcar).

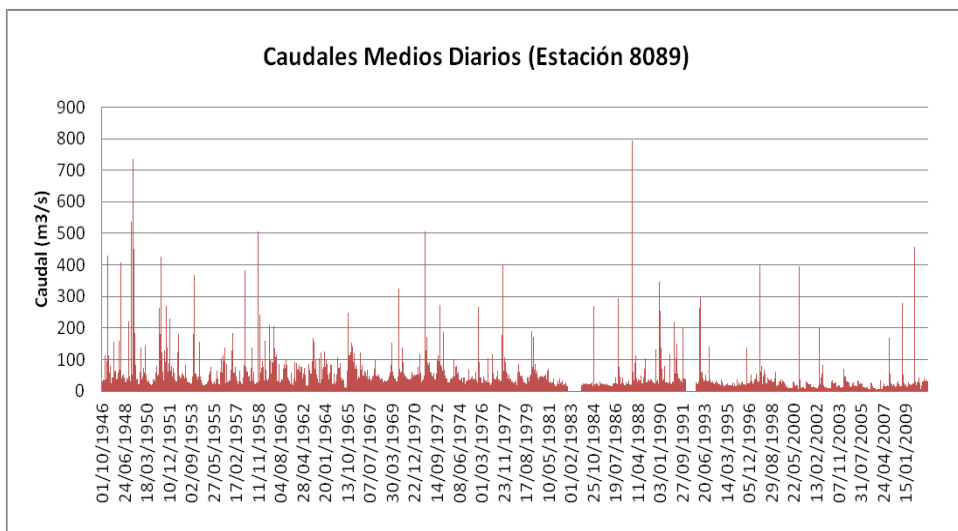


Gráfico 4. Caudales medios diarios, Estación Huerto Mulet (Fuente de datos: Confederación Hidrográfica del Júcar).

Se ha producido una disminución de valores máximos por la paulatina modificación del caudal a lo largo de toda la cuenca del Júcar. Así lo demuestran los Gráficos 5 y 6, con valores aforados de caudales mínimos apenas apreciables en relación con los máximos y con picos correspondientes probablemente a meses de altas precipitaciones que hacen elevar las medias.

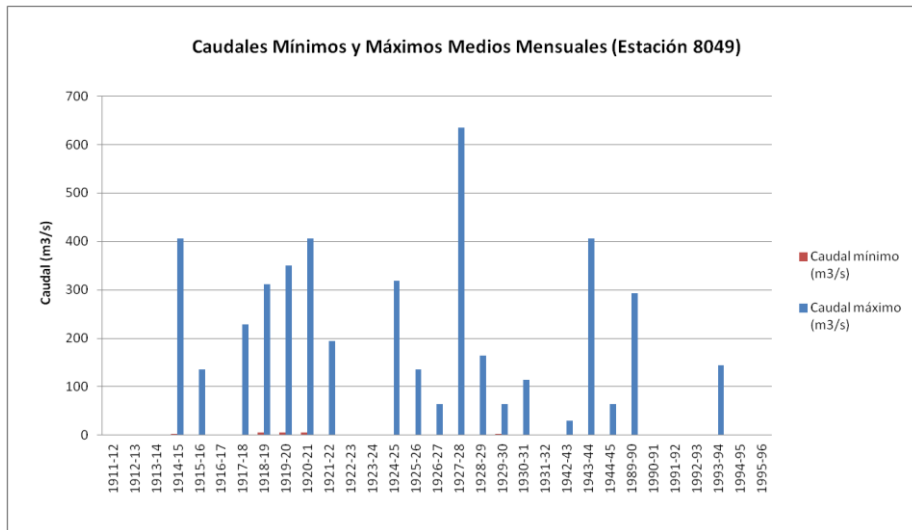


Gráfico 5. Caudales mínimos y máximos medios mensuales, Estación Río Júcar en Cullera (Fuente de datos: Confederación Hidrográfica del Júcar).

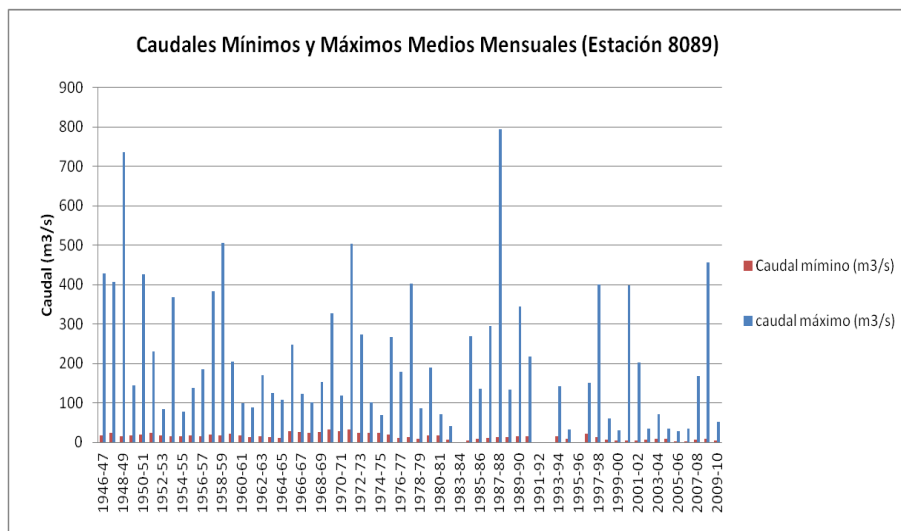


Gráfico 6. Caudales mínimos y máximos mensuales, Estación Huerto Mulet (Fuente de datos: Confederación Hidrográfica del Júcar).



En cuanto a los caudales máximos instantáneos, también manifiestan una tendencia a la baja desde 1911 hasta el 2009 (Gráficos 7 y 8). Todos los cambios producidos a lo largo de la cuenca del Júcar repercutirán en la calidad de las aguas de la bahía, puesto que no llegarán al mar caudales con las condiciones biológicas ni fisicoquímicas propias del ecosistema. Por tanto, el problema influye también en la variación de las concentraciones nutrientes vertidos en toda de la cuenca.

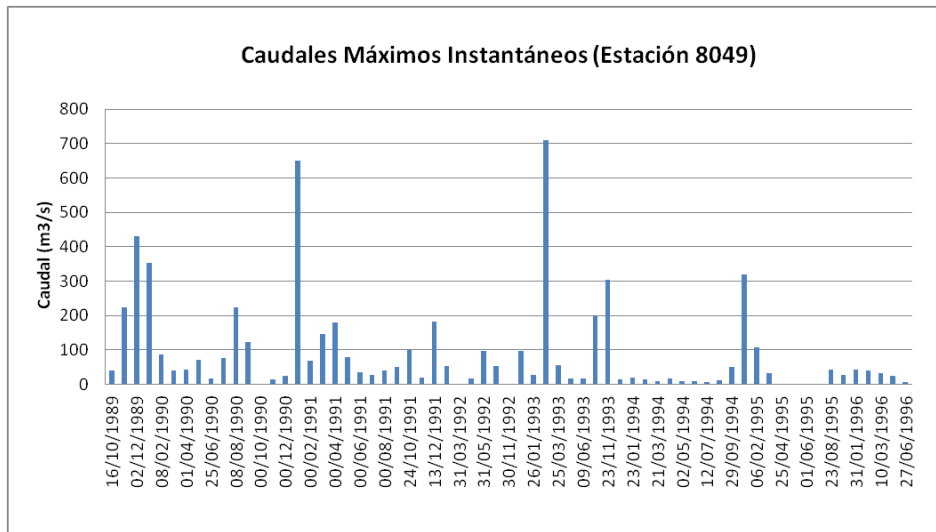


Gráfico 7. Caudales máximos instantáneos, Estación Río Júcar en Cullera (Fuente de datos: Confederación Hidrográfica del Júcar).

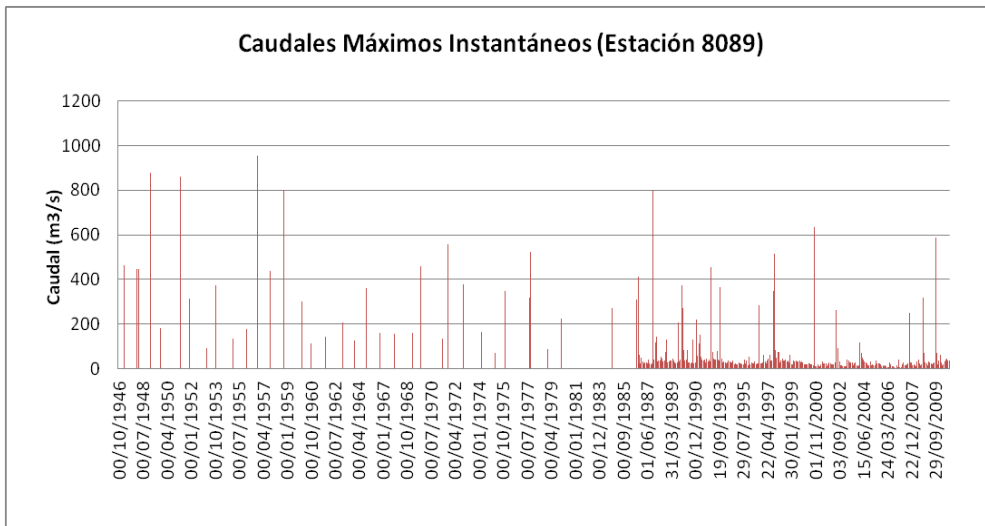


Gráfico 8. Caudales máximos instantáneos, Estación Huerto Mulet (Fuente de datos: Confederación Hidrográfica del Júcar).

### 9.2.6 AUMENTO DE LA POBLACIÓN

La evolución de Cullera como “destino turístico ha mantenido la espontaneidad de sus inicios a lo largo de las últimas cuatro décadas. Ligada a la aparición y fluctuación de actividades de oferta complementaria y hostelería y a la dinámica inmobiliaria, con y sin fines turísticos, Cullera ha experimentado una profunda transformación de su estructura urbana, demográfica y socioeconómica.” (Giner, 2011).

La ocupación del suelo residencial ha tenido un desarrollo muy notorio en el municipio, esto obedece a un aumento de la población. Según el INE, la evolución del número de habitantes ha experimentado un evidente crecimiento (Gráfico 9).

La serie de datos que se han estudiado en este proyecto corresponden con los siguientes censos poblacionales: 20145 habitantes (1981), 20121 habitantes (1991), 21109 habitantes (2001) y 23813 habitantes (2010).

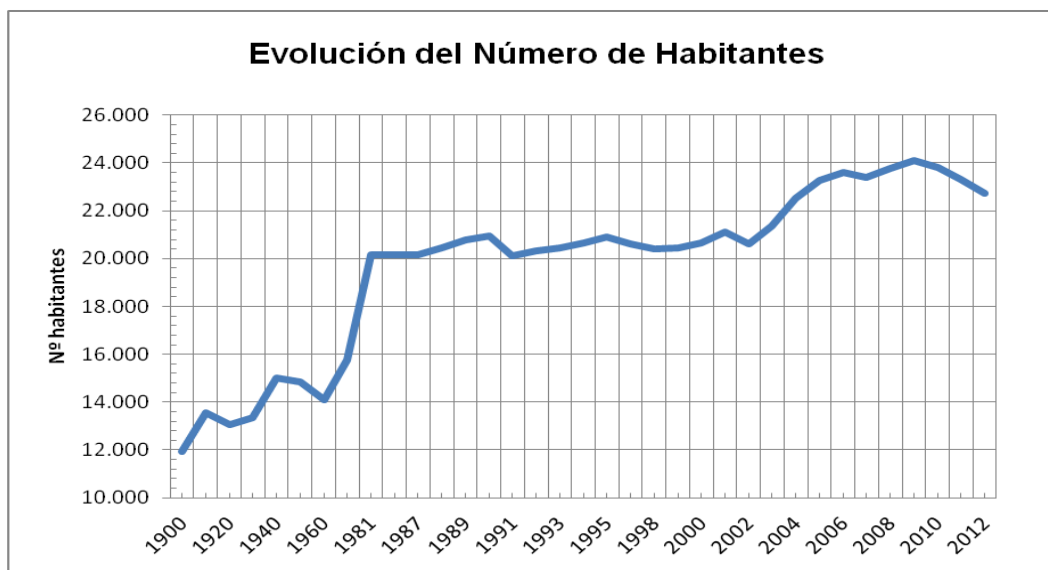


Gráfico 9. Evolución de la población del municipio de Cullera. (Fuente de datos: INE)

Como se ha comentado en todo el estudio, este crecimiento demográfico experimentado en el municipio ha traído consigo una serie de impactos perjudiciales sobre la calidad de aguas de la bahía por aumento de generación de aguas residuales.

## 9.2. 7 COMPORTAMIENTO DE LOS NUTRIENTES EN EL ESTUARIO DEL JÚCAR Y PLUMA

Se presenta la información recopilada por Romero *et al* (2007) y Falco *et al* (2007). En ambos estudios se tomaron varios puntos de muestreo en la zona, analizados desde junio de 2002 y julio de 2003. El análisis se centró en encontrar las diferencias del comportamiento de nutrientes en toda La Bahía de Cullera prestando especial importancia a la pluma de la desembocadura del río Júcar.

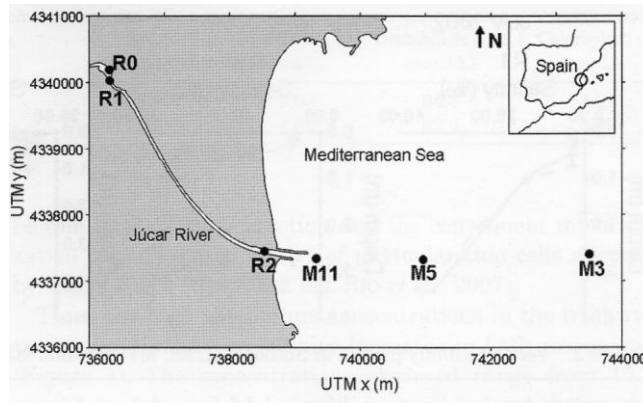


Figura 6. Localización de los puntos de muestreo en el río Júcar y la bahía de Cullera (Mar Mediterráneo). (Romero *et al*, 2007).

R0 y R1 son las estaciones de muestro fluviales, R2 la estación más cercana a la costa; y M11, M5 y M6 son las estaciones localizadas en el mar.

Las aguas continentales suelen tener mayor concentración de nutrientes que las aguas marinas. Las descargas de nutrientes son mayores en primavera que en verano. Las variaciones de dichas concentraciones en estuarios estratificados están relacionadas con dos procesos: variaciones en los aportes del río (en cantidad y calidad del agua) y variaciones debidas a los procesos bioquímicos internos. (Falco *et al.*, 2007).

En los años 2002-2003, los análisis de las muestras de agua procedentes de la primera estación río arriba R0 (Tabla 4), muestra variaciones estacionales de las concentraciones de nutrientes puesto que varían significativamente entre el verano y la primavera.

Date	Salinity (‰)	Ammonium (μmol/L)	Nitrate (μmol/L)	Nitrite (μmol/L)	DIN (μmol/L)	SRP (μmol/L)	Orthosilicic acid (μmol/L)	Chlorophyll a (μg/L)
July 2002	<2.85	1.3	138.7	3.20	143.2	<0.03	94.8	54.61
April 2003	<2.85	44.8	117.3	12.00	174.1	7.08	62.0	8.99

Tabla 4. Datos de nutrientes 2002-2003. Estación R0 (Romero *et al*, 2007).

El alto contenido de clorofila-α (en el primer escenario en julio) y la falta de amonio y del fósforo reactivo soluble (SRP) deben ser explicados en diferencias en el flujo de agua desde la zona río arriba hasta la presa. Sin embargo la variación en nitrato y ácido ortosilícico no es muy clara y puede ser debida a las actividades turísticas y agrícolas estacionales en la cuenca del río. (Romero *et al*, 2007).

Como se comentó anteriormente, los caudales del río Júcar han sufrido cambios temporales. Esas diferencias de entradas de agua dulce al estuario influirán en el aumento de la concentración de nutrientes y afectarán la producción primaria de la bahía.

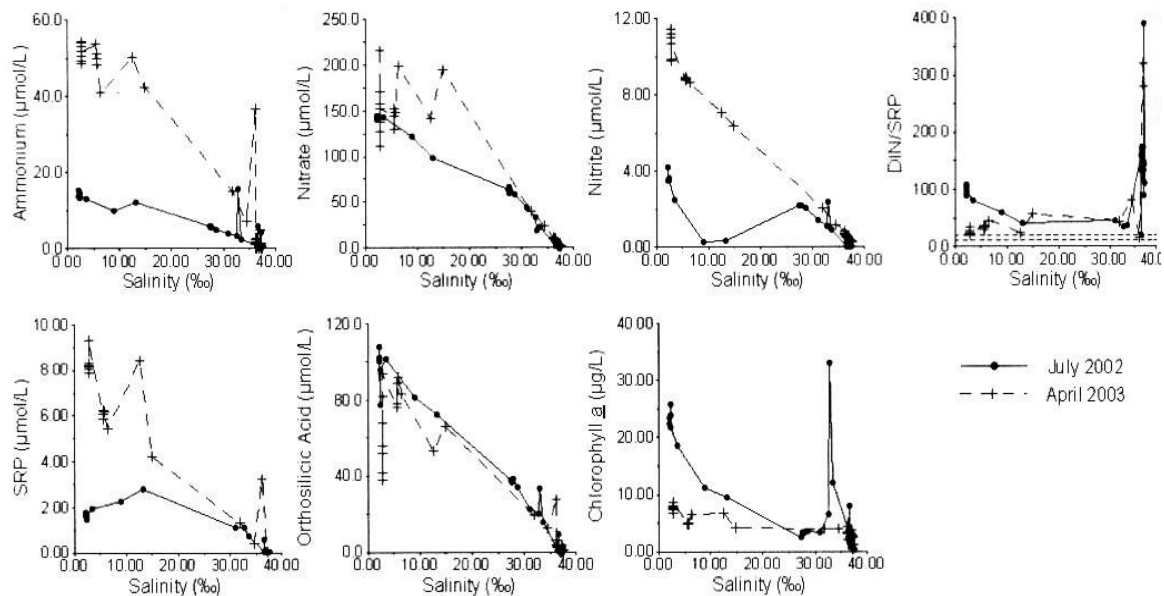


Figura 7. Variaciones de las concentraciones de amonio, nitratos, nitritos, DIN, SRP, ácido ortosilícico y clorofila-α relacionadas con los cambios de salinidad en julio de 2002 y abril de 2003. (Romero *et al*, 2007).

En la década de los ochenta, las concentraciones de nutrientes, presentaban valores considerablemente más altos que en la primera década de los años 2000. Estas variaciones temporales son valorables en el caso del amonio (Figuras 8 y 9) y del nitrato (Figuras 10 y 11).

En los puntos de muestreo cercanos a la costa, sobre todo en la zona de desembocadura del río Júcar, es donde se puede observar principalmente los valores que marcan la clara diferencia.

Esto de ser debido a que en el año 2000, fue construida la nueva depuradora de Cullera y la carga de nutrientes en la bahía disminuyó, por ejemplo las concentraciones de amonio se han reducido incluso hasta valores inferiores al límite de detección. Otra causa es que en la zona de cultivo a ambas márgenes del río Júcar, actualmente se realiza la reutilización de las aguas residuales. Por tanto parte de esas aguas no van a parar al mar.

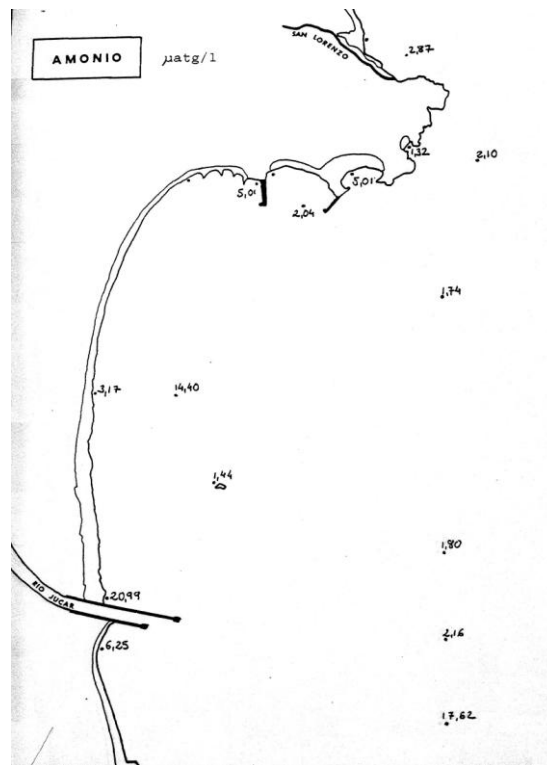


Figura 8. Distribución superficial del amonio en La Bahía de Cullera (noviembre 29, 1983). (González del Río, 1986).

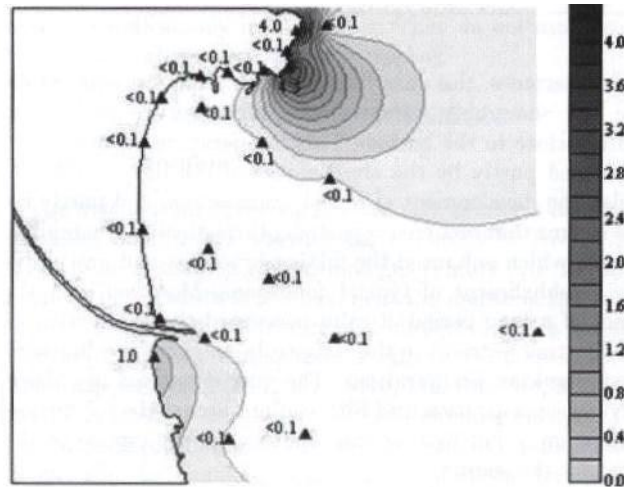


Figura 9. Distribución superficial del amonio ( $\mu\text{M}$ ) en La Bahía de Cullera (septiembre 5, 2002). (Falco *et al.*, 2007).

En el muestreo realizado entre los años 2002 y 2003, se muestra un aumento en todas las concentraciones de nutrientes. Este incremento de la concentración en las capas menos salinas fueron relacionadas a el descenso del contenido de clorofila- $\alpha$ . Por tanto este incremento es debido a la exudación/excreción y consecuente mineralización de la materia orgánica de las células de fitoplancton afectadas por el choque salino (González del Río *et al.*, 2007).

El comportamiento de los nutrientes antes la influencia de la salinidad fue similar. Las altas concentraciones de amonio, nitrato, nitrito en las capas de agua dulce tienden a disminuir cuando la salinidad aumenta. (Figura 7). Por ejemplo en el amonio, Los rangos de concentraciones observadas fueron de  $15,3 \mu\text{mol/L}$  en julio y  $54,4 \mu\text{mol/L}$  en abril tendiendo a valores por debajo del límite de detección de este método analítico ( $<0,1 \mu\text{mol/L}$ ). (Romero *et al.*, 2007).

En el caso del nitrato estas concentraciones tendieron a disminuir a medida que la salinidad aumentaba en ambos escenarios, con valores que fluctuaban entre  $144,3 \mu\text{mol/L}$  en julio y  $216,0 \mu\text{mol/L}$  en abril, a  $0,5 \mu\text{mol/L}$  en julio y  $1,5 \mu\text{mol/L}$  en abril en las áreas con altos niveles de salinidad. Fueron mayores en las estaciones localizadas en el estuario más que en la R0, con concentraciones en el segundo escenario mucho mayores que en el primero. (Romero *et al.*, 2007).

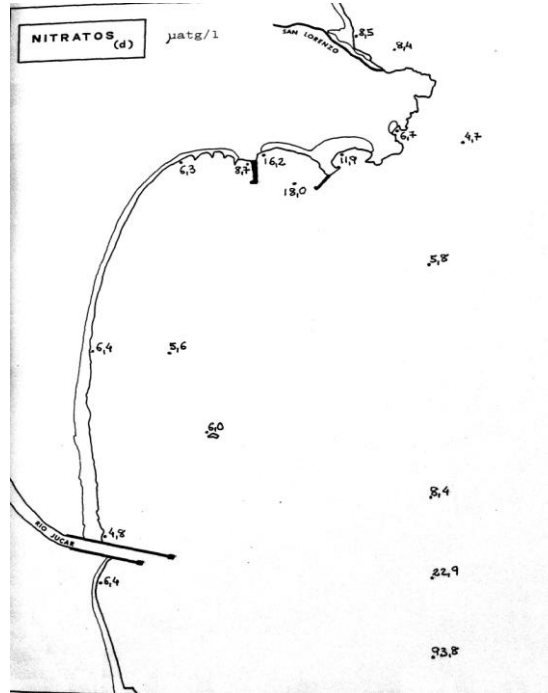


Figura 10. Distribución superficial de nitratos en La Bahía de Cullera (noviembre 29, 1983). (González del Río, 1986).

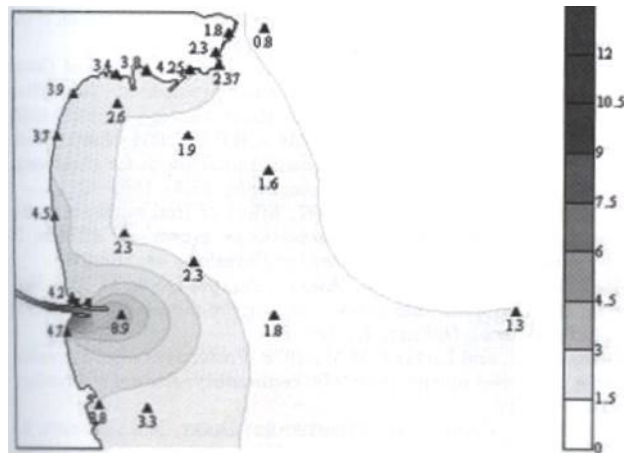


Figura 11. Distribución espacial del nitrato ( $\mu\text{M}$ ) en La Bahía de Cullera (noviembre 21, 2003). (Falco *et al.*, 2007).

El nitrato también muestra claras ganancias entre los años 2002 y 2003, en las capas de agua dulce de las estaciones del río y el estuario. Hay un claro aumento en nitratos a lo largo del rango de salinidad en ambos escenarios (Figura 7), con respecto a los valores de referencia de la estación R0.

Como se menciona anteriormente, el proceso de nitrificación empezado por el amonio generado por el choque salino es un proceso decisivo en esta área para ambos escenarios.

El nitrito por su parte muestra tendencias distintas in cada uno de los dos escenarios. En julio, las concentraciones fluctúan entre 4,20  $\mu\text{mol/L}$  y valores por debajo del límite de detección de este método analítico ( $<0,1.1 \mu\text{mol/L}$ ). En abril, se fluctuación se aprecia desde 11,46  $\mu\text{mol/L}$  a 0,24  $\mu\text{mol/L}$ . el

En el verano, el comportamiento del nitrito es similar al del amonio. Se producen pérdidas en la primera parte y ganancias en la siguiente. Pero se diferencian en que el nitrito presenta un rango de salinidad más amplio. En relación al nitrato, las concentraciones de nitrito en las capas de agua dulce (el máximo 30 cm de la estación R1) disminuyen con respecto a la R0, mientras que las concentraciones de nitrato aumentan. Esto es probablemente debido al hecho de que la nitrificación del amonio generado por la mineralización de la materia orgánica prevalece sobre otros procesos, así disminuyen las concentraciones de nitrito e incrementan las de nitrato.

Las concentraciones del nitrógeno inorgánico disuelto (DIN) representan las formas de nitrógeno inorgánico añadido (amonio, nitrato y nitrito). El aumento en las concentraciones de DIN, con respecto de los valores de referencia de R0, en capas de poco contenido de salinidad es principalmente debido a incrementos en el amonio y nitrato. Las concentraciones fueron más grandes en el segundo escenario que en el primero.

En cuanto al Fósforo Reactivo Soluble (SRP), las concentraciones observadas abarcan un rango de valores de 9,32  $\mu\text{mol/L}$  en julio y 2,79  $\mu\text{mol/L}$  en abril; a valores cercanos al límite de detección en ambos escenarios ( $<0,3 \mu\text{mol/L}$ ).

Las concentraciones de SRP aumentaron en ambos escenarios en las estaciones estuarinas, pero entre ellas se compara que en abril de 2003 fueron mucho mayores en julio de 2002. Durante el verano, muestra ganancias en todo su rango de salinidad. Esto indica que las entradas están relacionadas con que el choque salino fue mayor que la composición de la comunidad de fitoplancton en la mayor parte de toda la zona. Por tanto, las concentraciones del fósforo reactivo soluble en las láminas de agua dulce, tienden a disminuir a medida que van incrementando los niveles de salinidad en los dos escenarios.



### Estimación de la Evolución de los Nutrientes en un Futuro

Se plantea un escenario futuro en el que el impacto negativo que tendrán las nuevas urbanizaciones reside en el aumento de la población. Hay que tener en cuenta que a medida que se produce un incremento de habitantes, se hace un consumo hídrico más elevado y hay mayor generación de residuos. El problema ambiental surge por el incremento de la carga contaminante de nutrientes en las aguas residuales y el destino de su vertido.

Como se ha comentado anteriormente en cuanto a usos del suelo, hay una diferenciación de dos tipos principales de cultivo: arrozales y cítricos. En la zona donde se cultivan los naranjos a ambos márgenes del río Júcar y en el sur del municipio, actualmente se realiza la reutilización de las aguas residuales porque se consideran provechosas para estimular su crecimiento y productividad. Por el contrario en la zona de los arrozales no se quieren dichas aguas puesto que no es adecuado usar nitratos como fuente de nitrógeno para la fertilización del arroz.

Precisamente esas zonas agrícolas de cultivo de cítricos son las que coinciden con los terrenos sobre los cuales se edificarán los futuros proyectos urbanizadores en Cullera. Cuando esos proyectos sean una realidad, obviamente el agua residual que allí se desecha no tendrá más remedio que ser vertida directamente al mar, trayendo consigo unos impactos medioambientales y socioeconómicos aun mayores de los que hoy en día origina ya el uso residencial.

Uno de esos impactos medioambientales es la afección de la calidad del agua por el aumento de la concentración de nutrientes, que dan lugar a problemas de eutrofización de las aguas y a su vez causa otras perturbaciones del ecosistema (Se explicará más adelante).

En cuanto al estudio de la evolución de los nutrientes en la bahía de Cullera, se ha estimado que antes de la construcción de la actual depuradora en el año 2000, las aguas presentaban altos niveles de eutrofización por deficiencia en su depuración. Tras la implantación de la nueva depuradora la calidad de las aguas mejoró en relación a los años anteriores, pero poco a poco ha ido aumentando la densidad población, la depuradora ya no tiene capacidad suficiente para tratar mayores excedentes (sobre todo en la temporada estival) y la contaminación del agua ha vuelto a empeorar.

Por tanto, a modo de predicción de la evolución de los nutrientes para los siguientes próximos años, tras la expansión residencial, se espera un empeoramiento aún más crítico de la calidad de las aguas. Los niveles de eutrofización en la bahía serán maximizados por culpa del vertido de las aguas residuales que antes se realizaba en la zona de cultivos cítricos y que irán a parar directamente al mar.

## 10. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE GESTIÓN

La bahía de Cullera es una zona costera y estuarina muy influenciada por el desarrollo industrial y agrícola, pero más aún por el urbanístico y turístico. Estas actividades generan efluentes que contaminan el agua y ocasionan ciertos problemas que impactan en la costa donde desemboca el río.

Se identifican dos fuentes principales de contaminantes, las descargas del río Júcar y de las aguas residuales vertidas al río y que llegan al mar cerca de la desembocadura.

Durante la década de los 80 y principios de los 90 la Bahía de Cullera estaba eutrofizada y los efectos de las acumulaciones de algas amenazaban con hundir el futuro turístico de la localidad.

La entrada en funcionamiento de la EDAR ha mejorado paulatinamente la situación hasta el punto de convertirse en un sistema costero mucho más mesotrófico-oligotrófico y sin los efectos de los grandes blooms de macroalgas de los años 80.

Si se acometen urbanizaciones que impliquen incrementos poblacionales, sin adecuar las infraestructuras del tratamiento de aguas residuales y disminuye la superficie agrícola en la que hay reutilización de las aguas residuales es muy probable que se pueda volver a las situaciones de los años 80 con los arribazones de *Ceramium*, o fenómenos fuertes de anoxia en sedimentos.

El impacto negativo de esto perjudica a todo el ecosistema. Se produce un aumento de la concentración de nutrientes en la pluma del río Júcar (a pesar de su mejora con respecto a la década de los ochenta), lo cual da como resultado un agua cargada en nutrientes y eutrofizada (llegando a producir acumulación de algas en la playa) con tan baja calidad que amenaza el equilibrio ecológico y el mantenimiento de los recursos económicos que proporciona el turismo a la ciudad.

La calidad de las aguas es también afectada por modificaciones realizadas a lo largo de la cuenca del río Júcar. El análisis de datos disponibles desde el año 1911 hasta el 2010, revelan que las descargas del río son más bajas con la evolución del tiempo debido a la modificación de su cauce. Las descargas máximas tienen lugar en la temporada otoño-invierno y los flujos mínimos se producen en verano. Por otra parte, el análisis de los caudales medios diarios también refleja que la disminución del caudal, lo que apunta a mayores cargas de contaminante en menores volúmenes de agua que llega al mar.

La batimetría de la zona y estructuras hechas por el hombre, como diques y espigones son otros aspectos a tener en cuenta, actúan de efecto barrera, influyen en la circulación de las aguas e interrumpen la dinámica marina. Por su parte, El Cabo de Cullera actúa como barrera natural ya que determina una geomorfología semicerrada y esto hace que la bahía se comporte como sumidero de sustancias contaminantes.

Hay numerosas opciones de gestión de estas zonas que se pueden llevar a cabo, pero muy pocas las que son respetuosas con el entorno que se pretende gestionar. La idea clave es elegir las opciones que perturben lo menos posible los espacios naturales y el medio ambiente. Por esto, se sugieren cuatro medidas de gestión fundamentales para el mantenimiento futuro de la calidad ambiental:

- Mejorar las instalaciones de la actual EDAR de Cullera para que tenga la capacidad de tratar la totalidad de las aguas residuales durante el invierno y la mayor parte de las generadas en el verano, y adecuarla paulatinamente al aumento demográfico que supondrá la expansión del suelo urbano.
- Diseñar un nuevo emisario submarino que realice el vertido de aguas residuales más lejos de la costa, a una profundidad de 20 m, ya que las condiciones meteorológicas, topográficas y oceanográficas de la zona, arrastrarían los efluentes hacia la playa. Sierra *et al.* (2007) concluyó que al menos se necesitaba una prolongación del emisario de unos 900 m, para evitar el transporte de los vertidos hacia la playa.
- Reducir la cantidad de fertilizantes y pesticidas usados por la agricultura en la región para disminuir la carga de nutrientes en el río, y al mismo tiempo favorecer la reutilización en agricultura de las aguas residuales.
- Un programa de seguimiento ambiental continuo con muestreos periódicos y realización de balances de masas en el ambiente estuarino para verificar la sostenibilidad de las medidas y detectar otras posibles fuentes de contaminación.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Agüero, M., & Claverí, M. (2007). A Model for Evaluating the Socioeconomic Performance of Alternative Management Policies in Coastal Zones: Application to Patos Lagoon (Brazil) and the Júcar River Estuary (Spain). *Journal of Coastal Research*, 145-152.

Burguet, I., Camarasa, A. M., Navarro, L., Pardo, J., Viñals, M. J. (1988). L'Estany Gran de Cullera: evolución geomorfológica. *Cuadernos de geografía*, (44), 163-176.

Cullera: Ayuntamiento (2001). Diagnóstico Ambiental Municipal de Cullera – Documento de Síntesis. Agenda 21 Local. M.I. Ayuntamiento de Cullera. Valencia, España.

Díez Santo, D., & Gandía Álvarez, E. (2011). La diversificación turística como estrategia clave para la reactivación de destinos consolidados del litoral: la reinención de Cullera (España). *Seminario renovación y reestructuración de destinos turísticos del litoral*. Universidad de Alicante.

Falco, S., Hermosilla, Z., Romero, I., Martínez, R., Sierra, J. P., Mösso, C., & Mestres, M. (2007). Spatial and temporal patterns of water quality in Cullera Bay. *Journal of Coastal Research*, 40-47.

Giménez Font, P. (2005). Medio, arroz y salubridad en la ribera baixa del Xúquer: el caso de Cullera. En: *VI Jornades d'Estudis de Cullera*: 28, 29 i 30 de novembre de 2003. Cullera: Ajuntament.

Giner Sánchez, D. (2011). Consideraciones estratégicas para la reestructuración turística de un destino maduro: el caso de Cullera. *Seminario renovación y reestructuración de destinos turísticos del litoral*. Universidad de Alicante.

González del Río, J., (1986). Problemas de eutrofización litoral. El caso de la Bahía de Cullera. *D. Thesis*, Universidad de Valencia.

González del Río, J., Romero, I., Falco, S., Rodilla, M., Saez, M., Sierra, J. P., Sánchez-Arcilla, A., & Mösso, C. (2007). Changes in Phytoplankton Population along the Saline Gradient of the Júcar Estuary and Plume. *Journal of Coastal Research*, 63-68.

Jaramillo, J. (2012). Propuestas de Gestión Sostenible para la Playa de L'Ahuir y Conservación de su Cordón Dunar. *Proyecto Final de Carrera*. Universidad Politécnica de Valencia.

Martí, E., Torres-Gavilá, J., Tena, J., Rodilla, M., Sánchez-Arcilla, A., Mestres, M., & Mösso, C. (2007). Temporal changes in mollusk and polychaete communities in the soft bottom of Cullera Bay (Western Mediterranean). *Journal of Coastal Research*, 76-83.

Mösso, C., Sierra, J. P., Pascual, A., Rodilla, M., Romero, I., & Falco, S. (2006). Monitorización de aguas urbanas vertidas por emisarios submarinos en un tramo de la costa mediterránea española. *Ingeniería Sanitaria y Ambiental (Uruguay)*.

Mösso, C., Sierra, J. P., Mestres, M., Cupul, L., Falco, S., Rodilla, M., Sánchez-Arcilla, A., & González del Río, J. (2007). The influence of topography on wind-induced hydrodynamics in Cullera bay. *Journal of Coastal Research*, 17-30.

Nadal Alforja, A. (2011). Estudio del estado del proceso de depuración de la EDAR de Cullera mediante técnicas de respirometría.

Romero, I., Moragues, M., González del Río, J., Hermosilla, Z., Sánchez-Arcilla, A., Sierra, J. P., & Mösso, C. (2007). Nutrient Behavior in the Júcar Estuary and Plume. *Journal of Coastal Research*, 48-55.

Sánchez-Arcilla, A., Mösso-Aranda, C., Sierra-Pedrico, J. P., Cupul-Magaña, L. A., Romero, I., Fermán-Almada, J. L., & Falco, S. (2006). Distribución bacteriológica en el agua de mar en la Bahía Cullera, España. *Ciencias Marinas*, 32(2), 311-318.

Sánchez-Arcilla, A., Mösso, C., Mestres, M., Cupul, L., Sierra, J. P., Rodilla, M., Romero, I., & González del Río, J. (2007). Hydrodynamics of a coastal bay. Natural and man-made barriers. *Journal of Coastal Research*, 2-16.

Sierra, J. P., Mestres, M., Mösso, C., Pascual, A., González del Río, J., Romero, I., & Falco, S. (2007). Optimización mediante modelado numérico de la ubicación de un emisario submarino en Cullera (España). *Ingeniería sanitaria y ambiental (Buenos Aires)*, (91), 80-84.

Sierra, J. P., Mösso, C., González del Río, J., Mestres, M., Cupul, L., Sánchez-Arcilla, A., Rodilla, M., Falco, S., Romero, I., González-Marco, D., & Puigdefábregas, J. (2007). Sources and sinks of nutrients and pollutants in Cullera Bay. *Journal of Coastal Research*, 31-39.

Rodilla, M., & Villaplana, J. (2002). TURISMO Y MEDIO AMBIENTE. *Turismo en espacios naturales y rurales: II*, 7.

Yepes, V., & Medina, J. R. (2007). Gestión de playas encajadas de uso intensivo. *Libro de Resúmenes de las IX Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*, 175-176.

#### PÁGINAS WEB

Ayuntamiento de Cullera. Generalitat Valenciana. <<http://www.cullera.es/>> (29 de mayo 2013).

CEDEX: Anuario de aforos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <<http://hercules.cedex.es/>> (19 de junio de 2013).

Confederación Hidrográfica del Júcar. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <<http://www.chj.es/>> (17 de junio de 2013).

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. <<http://www.magrama.gob.es/>> (2 de septiembre de 2013).

Terrasit: IDE de la Comunidad Valenciana. Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente. Generalitat Valenciana. <<http://www.terrasit.gva.es/>> (20 de julio de 2013).

Instituto Nacional de Estadística. España. <<http://www.ine.es/>>. (13 de agosto de 2013).

Periódico Levante, el Mercantil Valenciano. Artículo: "Cullera modifica su plan urbano para incluir los PAI que prevén más de 14.600 viviendas". Maite Nácher, Cullera. <<http://www.levante-emv.com/>> (4 de julio de 2013).