



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**

*Facultad de Ciencias Experimentales*

Trabajo Fin de Grado

# **EFFECTO DEL CAMBIO GLOBAL SOBRE LOS HUMEDALES MEDITERRÁNEOS**

**Alumno: Fidela Villatoro Rodríguez**

**Junio, 2021**



**UNIVERSIDAD DE  
JAÉN**

Trabajo Fin de Grado

# **EFFECTO DEL CAMBIO GLOBAL SOBRE LOS HUMEDALES MEDITERRÁNEOS**

Firma manuscrita en tinta negra que parece leer 'Fidela'.

**Alumno: Fidela Villatoro Rodríguez**

**Jaén, junio, 2021**

## **ÍNDICE**

|                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>                                                                        | <b>3</b>  |
| <b>1.1. Objetivos.....</b>                                                                          | <b>5</b>  |
| <b>2. METODOLOGÍA.....</b>                                                                          | <b>5</b>  |
| <b>2.1. Resultados .....</b>                                                                        | <b>6</b>  |
| <b>3. LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS HUMEDALES .....</b>                                        | <b>10</b> |
| <b>4. ¿QUÉ ES EL CAMBIO GLOBAL? .....</b>                                                           | <b>12</b> |
| <b>5. EFECTO DEL CAMBIO GLOBAL EN LOS HUMEDALES.....</b>                                            | <b>14</b> |
| <b>5.1. Efecto del Cambio Climático sobre los humedales ..... ¡Error! Marcador no<br/>definido.</b> |           |
| <b>5.2. El impacto de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) en los humedales</b>                    | <b>15</b> |
| <b>5.3. La amenaza de los cambios de usos del suelo para los humedales.....</b>                     | <b>24</b> |
| <b>5.4. El efecto de la contaminación en el estado de los humedales .....</b>                       | <b>26</b> |
| <b>5.5. Los efectos de la eutrofización en los humedales .....</b>                                  | <b>28</b> |
| <b>6. RELACIÓN ENTRE LA SALUD DE LOS HUMEDALES Y LA SALUD HUMANA..</b>                              | <b>30</b> |
| <b>7. MEDIDAS CONTRA EL CAMBIO GLOBAL.....</b>                                                      | <b>33</b> |
| <b>8. CONCLUSIONES .....</b>                                                                        | <b>36</b> |
| <b>9. AGRADECIMIENTOS .....</b>                                                                     | <b>36</b> |
| <b>10. BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                                                        | <b>36</b> |



## **RESUMEN.**

Esta revisión bibliográfica tiene como objeto hacer una compilación del conocimiento hasta ahora adquirido por la comunidad científica sobre el efecto que el cambio global tiene sobre los ecosistemas acuáticos epicontinentales. El estado de los humedales mediterráneos ha empeorado a lo largo del tiempo debido al efecto de los inductores de cambio como son el cambio climático, la introducción de especies exóticas invasoras, los cambios en los usos del suelo, la eutrofización y la contaminación. Cada inductor de cambio tiene efectos sobre los humedales, estando la mayoría de las veces relacionados entre sí. Este trabajo se centra principalmente en el estado de los humedales situados en la cuenca mediterránea, estado actual, perspectivas de futuro y posibles actuaciones que se pueden llevar a cabo para frenar la degradación de los humedales, incluyendo los efectos económicos, sobre la salud humana o de seguridad alimenticia debido a la pérdida de los servicios ecosistémicos.

## **PALABRAS CLAVES.**

Cambio global, Cambio climático, Especies exóticas invasoras, Usos del suelo, Eutrofización, Contaminación, Humedales mediterráneos, PRISMA.

## **ABSTRACT.**

The purpose of this bibliographic review is to make a compilation of knowledge so far acquired by the scientific community on the effect that global change has on aquatic ecosystems epicontinental. The state of Mediterranean wetlands has been deteriorating over time due to the effect of causes of change such as climate change, the introduction of invasive alien species, changes in land use, eutrophication and pollution. Each of these factors has effects on wetlands, being in most cases related to each other. This bibliographic review focuses mainly on the state of the wetlands located in the Mediterranean basin, their current state, future prospects and possible actions that can be carried out to halt the degradation of wetlands, including the economic effects, on health. human or food security due to loss of ecosystem services.

## **KEY WORDS.**

Global change, Climate change, Invasive alien species, Ground uses, Eutrophication, Contamination, Mediterranean wetlands, PRISMA.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La cuenca mediterránea es conocida por ser uno de los puntos fundamentales en cuanto a biodiversidad a nivel mundial, siendo los humedales un elemento fundamental para la conservación y el mantenimiento de dicha diversidad. La Convención Ramsar sobre Humedales (2018) hace una descripción del término “humedal” que engloba a todos los ecosistemas que albergan agua al menos en una parte del año, exceptuando océanos y mares de más de 6 metros de profundidad. En la cuenca mediterránea se cuenta con humedales de gran importancia como son las marismas de Doñana o el delta del Nilo entre otros cuyas funciones y extensión se ven afectadas totalmente por actividades que fomentan la opresión que ejercen los inductores de Cambio Global sobre los humedales.

Los humedales tienen un papel fundamental tanto dentro del equilibrio ambiental como en beneficio para humanos en diferentes ámbitos, ya que son uno de los sistemas más productivos y que más biodiversidad albergan. En los últimos años, la calidad de los humedales ha ido disminuyendo considerablemente a causa del cambio global, viéndose afectados gravemente los situados en la cuenca mediterránea como consecuencia del gran desarrollo demográfico e industrial, cuyas actividades humanas son las que influyen de diferentes maneras al estado de dichos humedales. El estudio de cómo las distintas actividades humanas afectan de una manera o de otra al medio ambiente es fundamental a la hora de implantar medidas correctoras y poder asegurar nuestro futuro como sociedad sin comprometer nuestro porvenir ni al resto de las especies que conviven con nosotros. Las actividades de seguimiento y estudio del estado de conservación de los humedales muestran datos muy negativos, mostrando que cada vez son más los humedales que desaparecen o están amenazados de alguna forma, no sólo en la cuenca mediterránea, sino a nivel mundial.

La sociedad a lo largo de la historia se ha beneficiado de la existencia de los humedales gracias a los servicios ecosistémicos que éstos nos ofrecen, los cuales se traducen en beneficios económicos, depurativos, sanitarios... Estos servicios ecosistémicos se ven afectados por los diversos inductores del cambio global como son el Cambio Climático, la introducción de Especies Exóticas Invasoras (EEI), el cambio en los usos del suelo, la contaminación y la eutrofización. Algunos ejemplos de los servicios ecosistémicos que nos ofrecen los humedales son la mitigación de inundaciones, turismo y ecoturismo, recursos médicos, abastecimientos de agua, recursos alimenticios... que se pierden cuando se ven perjudicados por estos inductores del Cambio Global, provocando pérdidas económicas, empeoramiento de

la salud de la población, pérdida de biodiversidad o incluso llegando a desaparecer el propio humedal.

Este trabajo se trata de una revisión bibliográfica que se divide en dos partes: redacción del trabajo en base a la documentación relacionada con el tema, explicando qué es el cambio global y cada uno de sus inductores de cambio para ver cómo afecta a los humedales mediterráneos. La otra parte del trabajo es la de elaborar una base de datos con toda la documentación, clasificándola en función del país/continente de origen, año, palabras claves y tipo de inductor de cambio, con la idea de conocer cuáles son los aspectos más estudiados o que más preocupan o cuáles son los países o continentes que más estudios elaboran.

### **1.1. Objetivos**

La elaboración de este trabajo tiene como meta conseguir los siguientes objetivos:

1. Conocer cuáles son los temas más estudiados relacionados con el efecto del Cambio Global en los humedales mediterráneos.
2. Observar el estado pasado, presente y la predicción de futuro en lo que refiere al estado de los humedales mediterráneos.
3. Recopilar posibles medidas que se pueden adoptar contra el Cambio Global teniendo en cuenta los servicios ecosistémicos de los humedales.

## **2. METODOLOGÍA**

Para la realización de este trabajo utilizaremos un modelo de revisión sistemática en línea como es PRISMA (Moher et al., 2010), el cual sigue los siguientes pasos:

- Selección sistemática de artículos mediante un motor de búsqueda.
- Selección de los artículos.
- Revisión de los artículos más relevantes y extracción de información.

La búsqueda se ha realizado en Web of Knowledge ([www.webofknowledge.com](http://www.webofknowledge.com)), haciendo una búsqueda centrada en los 10 y 20 últimos años. Las palabras claves usadas en las búsquedas han sido:

- "global change" AND "wetlands"
- "global change" AND "aquatic ecosystems"
- "climate change" AND "wetlands"

- "Invasive species" AND "wetlands"
- "land uses" AND "wetlands"
- "contamination" AND "wetlands"
- "eutrophication" AND "wetlands"

Tras la realización de las búsquedas se seleccionaron una serie de documentos que tuvieran en cuenta varios de los aspectos que se tratan en el trabajo, intentando que sean lo más recientes e innovadores posible.

## 2.1. Resultados.

Tras realizar la búsqueda se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2.1:

| <b>Palabras claves</b>                         | <b>2000-2010</b> | <b>2011-2021</b> | <b>2000-2021</b> |
|------------------------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| "global change"<br>AND "wetlands"              | 549              | 2.206            | 2.755            |
| "global change"<br>AND "aquatic<br>ecosystems" | 293              | 1.493            | 1.786            |
| "climate change"<br>AND " wetlands"            | 1.266            | 6.120            | 7.386            |
| "Invasive species"<br>AND "wetlands"           | 482              | 1.281            | 1.763            |
| "land uses" AND<br>"wetlands"                  | 2.411            | 6.896            | 9.307            |
| "contamination"<br>AND "wetlands"              | 556              | 1.608            | 2.164            |
| "eutrophication"<br>AND "wetlands"             | 598              | 1.338            | 1.936            |
| <b>TOTAL</b>                                   | <b>6.155</b>     | <b>20.942</b>    | <b>27.097</b>    |

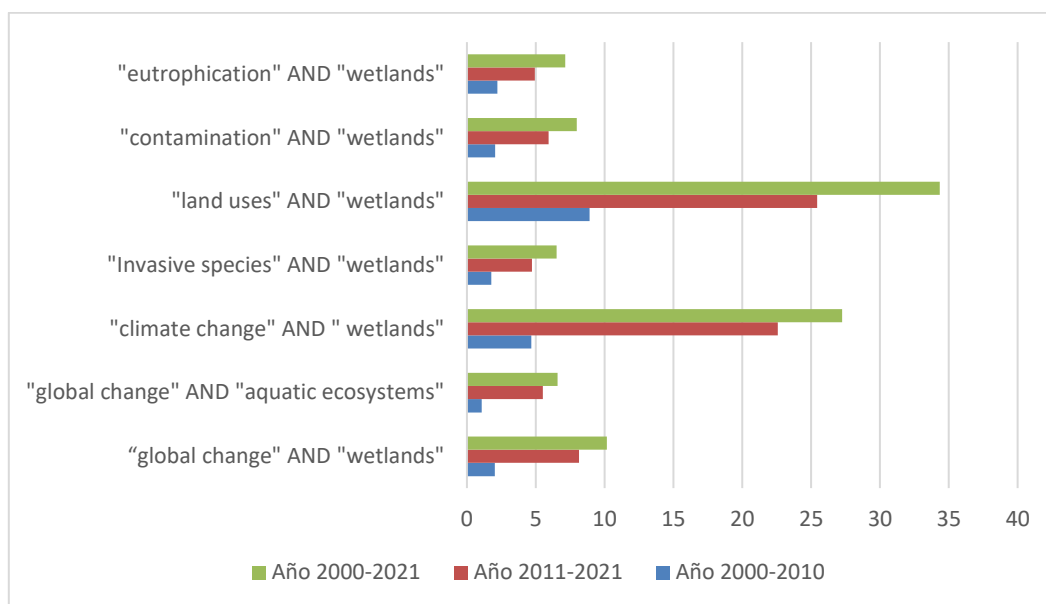
**Tabla 2.1.** Tabla que muestra los resultados procedentes de las búsquedas realizadas.

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede observar, el número de resultados es mucho mayor en la última década que en la primera. Según estos datos, desde 2000 hasta 2021 los temas

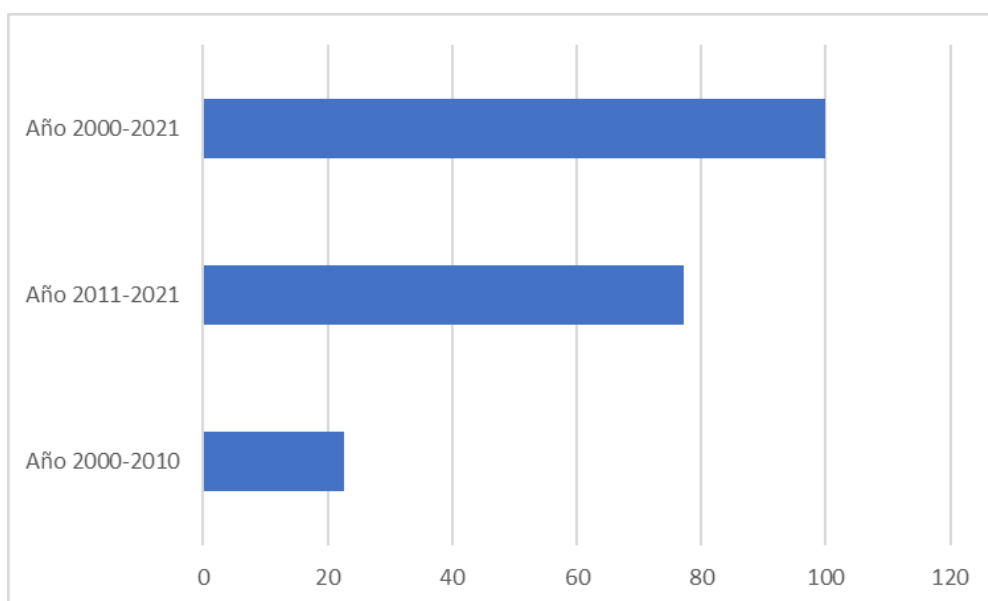


predominantes son los relacionados con los usos del suelo y cambio climático, teniendo mayor repercusión estos últimos 10 años por encima del resto.



**Figura 2.1.** Gráfico que muestra el porcentaje de publicaciones científicas relacionada con los humedales y los inductores de cambio.

**Fuente:** Elaboración propia.

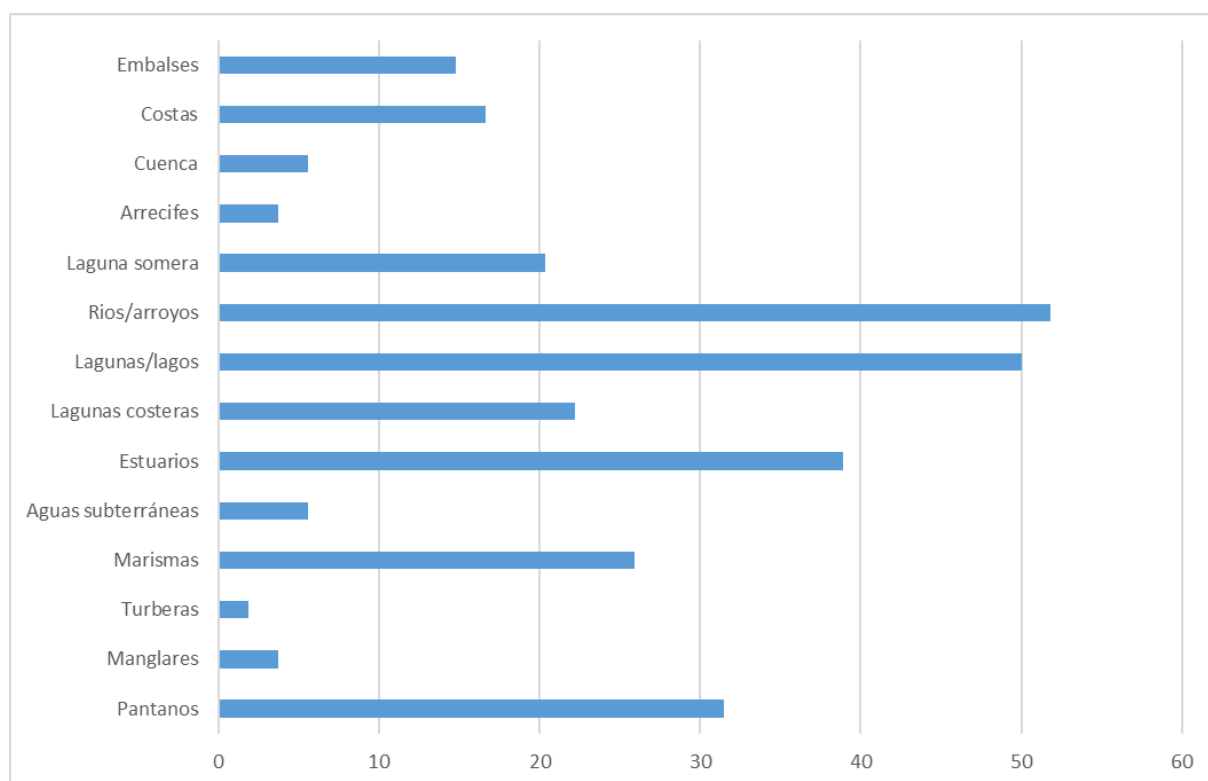


**Figura 2.2:** Gráfica que muestra el porcentaje de documentos encontrados en total en cada tramo de tiempo.

**Fuente:** Elaboración propia.

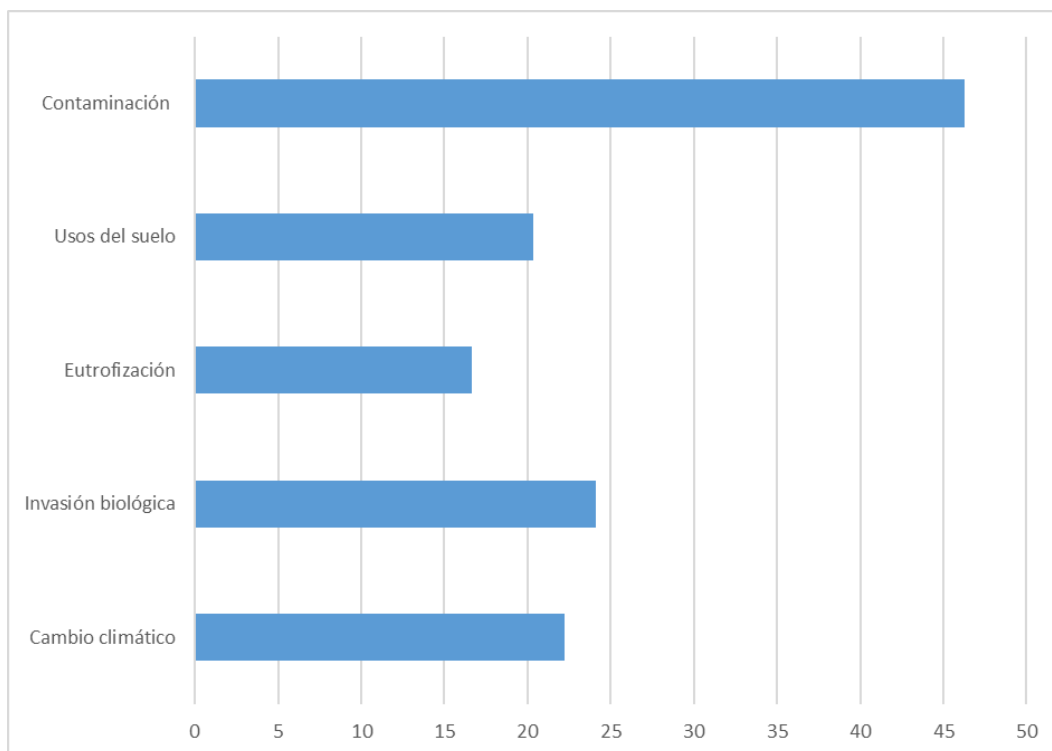
Los resultados de la Fig. 2.1. y Fig. 2.2. nos muestran cómo el número de publicaciones científicas ha pasado de ser bajo en la década que va desde 2000 hasta 2010, disparándose en la siguiente década (2011-2021), sobre todo en publicaciones en las que durante la búsqueda se han usado "climate change" AND " wetlands" (27,26% de los resultados totales) y "land uses" AND "wetlands" (34,35% de los resultados totales).

Del total de la documentación empleada para la elaboración de este trabajo se usaron un total de 53 documentos. Dichos documentos se clasificaron en función del tipo de humedal al que hacían referencia, el tipo de inductor de cambio y sus palabras claves (de manera aproximada). Los resultados fueron los siguientes:



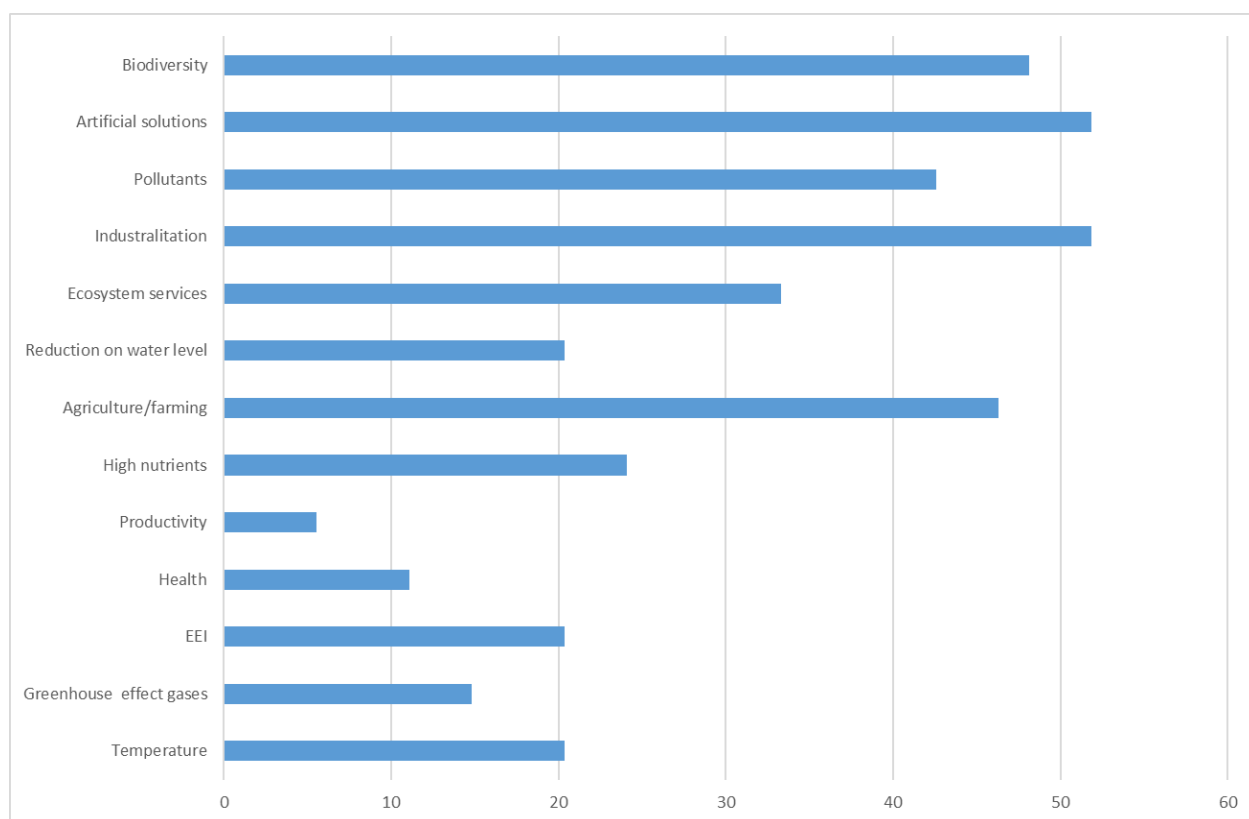
**Figura 2.3.:** Porcentaje de documentación que implican los distintos tipos de humedales.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.4.:** Porcentaje de documentación que implica los distintos inductores de cambio.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.5.:** Porcentaje de documentación que implica las siguientes palabras claves.

**Fuente:** Elaboración propia.

Como podemos observar en las figuras anteriores, la gran mayoría de la documentación empleada se centra en ríos/arroyos y lagunas/lagos (con un 51% y 50% aproximadamente cada uno), seguido por los estuarios, las marismas y los pantanos. En cuanto al tipo de inductor de cambio, destaca sobre el resto la Contaminación con un casi 43,30% de las publicaciones. Como consecuencia, las palabras claves con mayor porcentaje serán las relacionados con la contaminación, como son “pollution” o “industrialitation”. También destacan palabras claves como “biodiversity” o “artificial solutions”, las cuales están relacionadas con documentación que trata sobre todos los tipos de inductores de cambio.

### **3. LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS HUMEDALES.**

Los humedales tienen una serie de características y funciones que son beneficiosas en varios ámbitos para el ser humano las cuales son conocidas como servicios ecosistémicos. Los servicios ecosistémicos que generan los humedales son superiores a los de otros ecosistemas (Costanza et al., 2014), siendo tales que el Plan Estratégico de Ramsar (2018) propone que algunos de ellos se incluyan como estrategias dentro de sectores como el energético, minero, desarrollo humano o turístico. Estos servicios ecosistémicos han sido utilizados desde tiempo inmemorables por el ser humano, como son los de obtener alimento y agua, materiales para manufacturar, plantas medicinales, el uso de ciertas especies que se traduce en ventajas socioeconómicas, lugares con connotaciones espirituales o recreativas, depuración de las aguas... los cuales han perdurado a lo largo del tiempo, viéndose afectados debido a la actividad antropogénica poco eficiente sobre los recursos de los humedales (Perennou et al., 2020).

Algunos de estos servicios ecosistémicos procedentes de la actividad de los humedales pueden ser beneficiosos contra los inductores del Cambio Global, como por ejemplo el cambio climático, ya que los humedales como las turberas o los humedales costeros son grandes sumideros de carbono, teniendo la capacidad de absorber tanto carbono como todos los bosques del mundo. Sin embargo, los humedales de agua dulce son las principales fuentes de origen natural de metano (Moomaw et al., 2018). También son capaces de regular el microclima, pudiéndose en entornos urbanos para romper la “isla de calor” (Grant, 2012). También se conoce el uso de humedales artificiales (CW) para aprovechar la capacidad de absorción de

contaminantes como los metales que tienen ciertos microorganismos y vegetación que viven de forma natural en los humedales, retirando esos contaminantes del agua y evitando así el riesgo de la degradación del ecosistema y de intoxicación y reducción de la biodiversidad que compone el humedal (Sheoran y Sheoran, 2006); (Stottmeister et al., 2003).

| Tipos de humedales /Servicios | Humedales continentales |      |         |                   |             | Humedales costeros / marinos |         |                |                   |                                  |                |             | Humedales costeros / marinos |         |              |                       |         |                   |
|-------------------------------|-------------------------|------|---------|-------------------|-------------|------------------------------|---------|----------------|-------------------|----------------------------------|----------------|-------------|------------------------------|---------|--------------|-----------------------|---------|-------------------|
|                               | Río / arroyo            | Lago | Turbera | Marisma / pantano | Subterráneo | Marisma salada               | Manglar | Pastos marinos | Arrecife de coral | Arrecifes de bivalvos (mariscos) | Laguna costera | Alga marina | Embalse                      | Arrozal | Pasto húmedo | Estanques de residuos | Salinas | Estanques de agua |
| Servicios de abastecimiento   |                         |      |         |                   |             |                              |         |                |                   |                                  |                |             |                              |         |              |                       |         |                   |
| Alimentos                     | H                       | H    | H       | H                 | na          | H                            | H       | M              | M                 | M                                | M              | L           | M                            | H       | H            | L                     | H       | H                 |
| Agua dulce                    | H                       | H    | L       | M                 | H           | L                            | na      | na             | na                | na                               | L              | na          | M                            | na      | na           | L                     | na      | Na                |
| Fibra y combustible           | M                       | M    | H       | H                 | na          | L                            | H       | na             | na                | na                               | M              | na          | L                            | na      | na           | L                     | na      | L                 |
| Productos bioquímicos         | L                       | ?    | ?       | L                 | ?           | L                            | L       | ?              | L                 | ?                                | ?              | L           | ?                            | na      | ?            | ?                     | L       | ?                 |
| Materiales genéticos          | L                       | L    | ?       | ?                 | ?           | L                            | L       | ?              | L                 | ?                                | ?              | ?           | L                            | L       | ?            | ?                     | L       | L                 |
| Servicios de regulación       |                         |      |         |                   |             |                              |         |                |                   |                                  |                |             |                              |         |              |                       |         |                   |
| Clima                         | L                       | H    | H       | H                 | L           | H                            | H       | H              | M                 | L                                | L              | na          | M                            | L       | L            | na                    | L       | na                |
| Hidrológico                   | H                       | H    | M       | M                 | L           | M                            | H       | na             | na                | na                               | M              | na          | H                            | M       | L            | na                    | na      | na                |
| Control de la contaminación   | H                       | M    | M       | H                 | M           | H                            | H       | L              | L                 | na                               | M              | ?           | L                            | L       | L            |                       | na      | na                |
| Protección contra la erosión  | M                       | M    | M       | M                 | H           | M                            | H       | L              | M                 | M                                | L              | L           | L                            | M       | M            |                       | M       | na                |
| Riesgos naturales             | M                       | H    | M       | H                 | na          | H                            | H       | M              | H                 | M                                | M              | L           | L                            | L       | L            | na                    | M       | na                |
| Servicios culturales          |                         |      |         |                   |             |                              |         |                |                   |                                  |                |             |                              |         |              |                       |         |                   |
| Espiritual y de inspiración   | M                       | H    | M       | M                 | L           | ?                            | L       | ?              | H                 | na                               | M              | na          | M                            | L       | L            | na                    | M       | na                |
| Recreativo                    | H                       | H    | L       | M                 | L           | ?                            | ?       | ?              | H                 | na                               | M              |             | H                            | L       | L            | na                    | L       | na                |
| Estética                      | M                       | M    | L       | M                 | L           | M                            | M       | na             | H                 | na                               | M              | na          | H                            | M       | M            | na                    | M       | na                |
| Educativo                     | H                       | H    | M       | M                 | L           | L                            | L       | L              | L                 | L                                | L              | L           | H                            | L       | L            | L                     | M       | L                 |
| Servicios de sustento         |                         |      |         |                   |             |                              |         |                |                   |                                  |                |             |                              |         |              |                       |         |                   |
| Biodiversidad                 | H                       | H    | H       | H                 | H           | M                            | M       | L              | H                 | M                                | M              | L           | M                            | M       | M            | L                     | M       | L                 |
| Formación del suelo           | H                       | L    | H       | H                 | na          | M                            | M       | na             | Na                | na                               | na             | na          | L                            | M       | L            | L                     | L       | na                |
| Ciclo de los nutrientes       | H                       | L    | H       | H                 | L           | M                            | M       | L              | M                 | na                               | M              | L           | L                            | M       | L            | H                     | L       | L                 |
| Polinización                  | L                       | L    | L       | L                 | na          | L                            | M       | M              | Na                | na                               | ?              | ?           | L                            | L       | M            | L                     | L       | na                |

**Tabla 3.2.** Lista de los servicios ecosistémicos que prestan los humedales. Se califican en H (alto), M (medio), L (bajo), ? (no se conoce) y Na (no aplica).

**Fuente:** Convención de Ramsar sobre los Humedales (2018).

Como se muestra en la Tabla 3.2, los humedales prestan a la humanidad gran cantidad de servicios ecosistémicos, pero no de la misma manera. En ella se muestra como hay humedales que prestan ciertos servicios ecosistémicos de manera alta (H),

media (M) o baja (L), habiendo algunos cuya actividad no se conoce (?) o no aplica (Na). Según la figura, el humedal con más actividad en cuanto a servicios ecosistémicos son los ríos y arroyos, siendo los menos productivos en este sentido las lagunas someras. Como se muestra en la anterior tabla, los humedales continentales tienen un mayor valor que los humedales costeros o marinos en cuanto a los servicios ecosistémicos que prestan y a su intensidad, no significando esto que los humedales costeros no tengan importancia.

La actividad humana puede llegar a perjudicar a los humedales hasta tal punto de menguar o eliminar estos servicios ecosistémicos que ofrecen de manera natural. Sin embargo, los humedales muestran cierta resiliencia ante los cambios como puede ser la actividad humana abusiva, por lo que si estas actividades se regularan y se llevaran a cabo de una manera más eficiente se podrían revertir o al menos disminuir los daños que se les ocasiona a los humedales, pudiendo volver a adquirir la capacidad de volver a prestar estos servicios ecosistémicos. La pérdida de los humedales o de sus servicios ecosistémicos puede tener repercusiones severas tanto para el medio como para quienes dependen de él, dándose pérdida de biodiversidad, promoviendo la entrada de Especies Exóticas Invasoras (EEI), pérdida de suelo y sus características físico-químicas, aumento de las temperaturas, inundaciones... Por ejemplo, cada vez son más los lechos de ríos que son artificializados y esta acción hace que se pierda la capacidad que tienen los ríos que de manera natural tienen la capacidad de mitigar las inundaciones, volviendo a la población aledaña más vulnerable a este tipo de eventos (Mitsch y Gosselink, 2000).

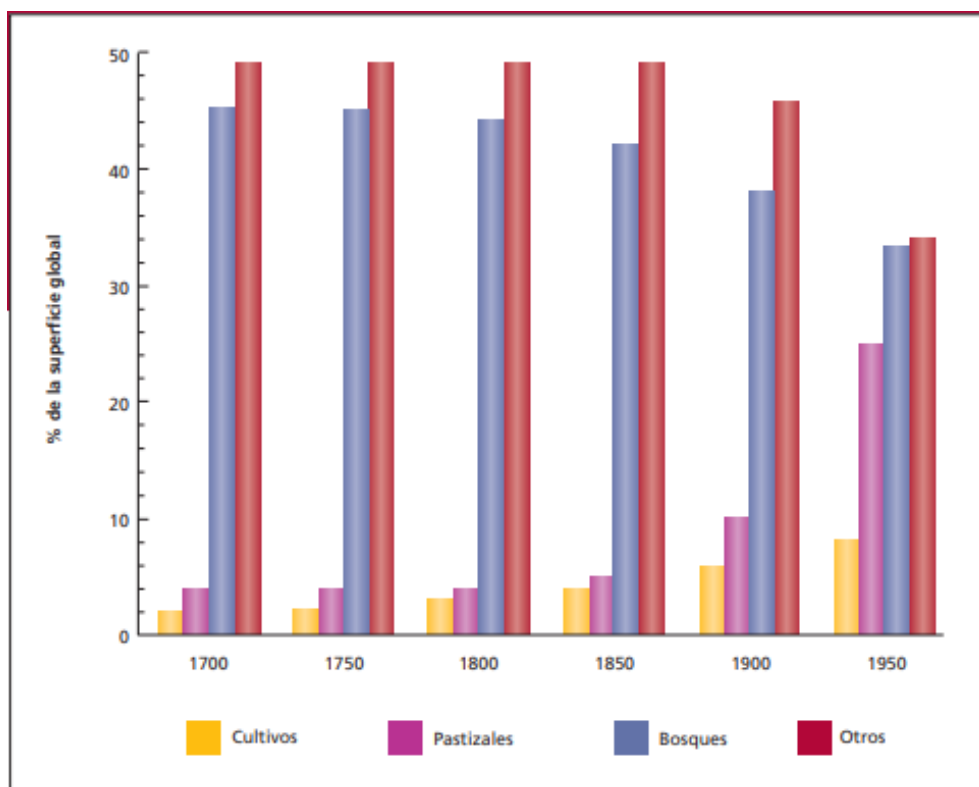
#### **4. ¿QUÉ ES EL CAMBIO GLOBAL?**

El concepto “Cambio Global” hace referencia al conjunto de cambios ambientales causados por la actividad humana y que tienen efectos a escala planetaria. Estas actividades, aunque a veces puedan ser llevadas a cabo de manera local, pueden afectar al funcionamiento global del planeta (Duarte et al., 2006). Debido a las perturbaciones producidas por el cambio global, surge en el año 2000 el término “Antropoceno” para referirnos a la era geológica actual en la cual la actividad humana es capaz de interferir en los ciclos naturales de la Tierra (Crutzen y Stoermer, 2000).

Las consecuencias del Antropoceno están estrechamente relacionadas con el gran crecimiento demográfico que ha tenido lugar, en general, en todo el planeta en los

últimos años, a la vez con el desarrollo industrial y tecnológico, siendo a medio plazo dicho crecimiento insostenible al ritmo al que se da (Cohen,1995). Este aumento de la población humana requiere un aumento del consumo de bienes como el espacio requerido y el consumo de alimentos, energía y agua, los cuales son bienes finitos y ponen cierto límite al crecimiento poblacional, estimándose la capacidad de carga del planeta en la mayoría de los estudios científicos entre 6.000-15.000 millones de habitantes, siendo el valor medio una estimación poblacional similar a la que se da actualmente Cohen (1995). Según las Naciones Unidas, se espera que para 2150 el número de habitantes en la Tierra sea de 9.000 habitantes United Nations (2003), siendo este valor muy cercano al que proponía Cohen anteriormente.

Así mismo, los usos del suelo han ido variando conforme los años pasaban y conforme la industria y la densidad poblacional aumentaban, haciendo que disminuyera cada vez más el porcentaje de hábitat sin perturbar y, por tanto, aumentando la cantidad de suelo usado por el hombre para obtener recursos. La transformación del territorio empezó con el comiendo de la agricultura y la ganadería hace unos 10.000 años, aumentando con la aparición de la revolución industrial y con el aumento demográfico que esto supuso (Goldewijk y Battjes ,1997).



**Figura 4.6.:** Diagrama que refleja los cambios en los usos del suelo desde 1700 a 1950.

**Fuente:** Goldewijk y Battjes (1997).

En la imagen anterior, se muestra la conversión de bosques y otros tipos de ecosistemas en pastizales y cultivos desde 1700 a 1950, teniendo en cuenta que las zonas urbanas corresponden únicamente con el 2% de la superficie total terrestre.

Por otro lado, se denota un gran incremento del consumo de agua a lo largo del s.XX, pudiendo deberse al aumento del consumo de carne, migración de la población a las ciudades o el desarrollo de infraestructuras sanitarias que requieren de agua para eliminar residuos (Duarte et al., 2006). El consumo de energía también se ve incrementado a raíz de la Revolución Industrial, por el desarrollo de los medios de transporte y de la climatización de los espacios habitados, habiéndose incrementado por 15 la energía usada per cápita con respecto hasta entonces, pudiendo ser estos valores hasta 10 veces mayor en los países donde más se consume y muy inferior en los países en los que menos (Duarte et al., 2006).

El uso indiscriminado de los recursos del planeta afecta de manera indirecta a los distintos ecosistemas que componen el sistema Tierra, siendo estos ecosistemas de gran valor ecológico, ya que se encargan de mantener el equilibrio de los procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en él.

## **5. EFECTO DEL CAMBIO GLOBAL EN LOS HUMEDALES.**

Uno de los ecosistemas que se ven gravemente afectados por el cambio global son los humedales, los cuales cumplen funciones como las de diversificadores del paisaje, reservas de agua y cobijo de fauna que no se podría observar de no ser por su existencia (Cardelús et al., 1996). Los humedales, en diversas localizaciones de la cuenca mediterránea ha sufrido disminución en su superficie al ser desecados y/o transformados debido a su uso para el riego en la agricultura, la expansión de las zonas urbanas o como medida sanitaria como prevención contra enfermedades como la malaria o el paludismo (Montes et al., 2007). A pesar de que a causa del desconocimiento por parte de la sociedad y de las instituciones responsables los humedales hayan sufrido un gran declive, en las últimas décadas han tomado gran importancia debido a su gran relevancia ecológica, haciendo que se tomen medidas políticas para protegerlos, conservarlos y gestionar sus recursos (Montes et al., 2007). La cuenca mediterránea destaca por contar con gran variedad de humedales, como los estuarios, deltas, marismas, lagos, oasis, llanuras de inundación, salinas naturales



y artificiales y embalses (Pearce y Crivelli, 1994). Para llevar a cabo una clasificación de los humedales se realizó por parte de la Unión Europea el proyecto “Acción Coordinada a favor de los Humedales Mediterráneos MEDHUM”, proyecto MedWet (1996), el cual se ejecutó a través del Ministerio de Medio Ambiente, hace una clasificación de los humedales de carácter funcional: marismas, lagos, lagunas costeras, llanuras de inundación fluvial, complejos endorreicos y esteparios, deltas, oasis, chotts y sebkas, manantiales y surgencias, ramblas/wadis, arrozales, graveras, salinas y turberas. Esta clasificación, junto a una anterior de la UICN (1992), han servido de base para una clasificación realizada por la Plan Estratégico Español para la Conservación y Uso Racional de los Humedales (1997-2000) (Montes et al., 2007).

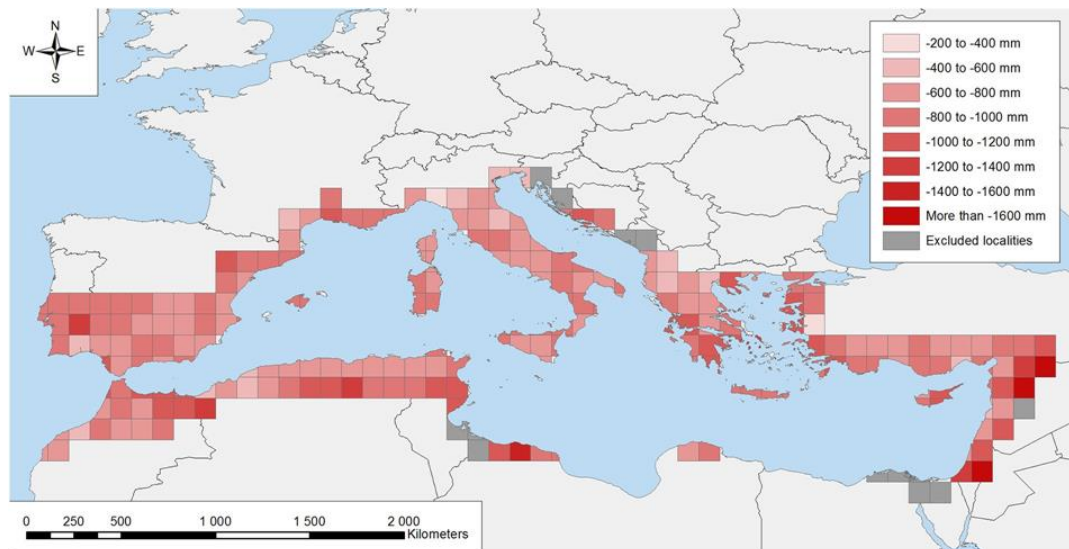
### **5.1. Efecto del Cambio Climático sobre los humedales.**

La desaparición de muchos humedales en la cuenca mediterránea está íntimamente relacionada con el cambio climático, especialmente si se tratan de humedales situados en zonas con déficit hídrico. Se estima que entre un 64% y un 71% de los humedales han desaparecido desde 1900 en zonas donde hay gran presión del cambio climático, interviniendo a su vez otros factores no climáticos como los usos del suelo, explotación de humedales, contaminación... que aportan una presión extra sobre los humedales (Davidson, 2014). Un Índice Regional de Cambio Climático (RCCI) elaborado por Giorgi (2006) reveló que la cuenca mediterránea es el segundo mayor punto caliente de cambio climático, viéndose una mayor disminución y variabilidad de las precipitaciones durante los meses secos.

Un estudio realizado por Lefebvre et al., (2019) se realizaron simulaciones para observar cómo iría variando el balance hídrico, las condiciones de dichos humedales y la cantidad de agua que haría falta para mantenerlos en 2050 y 2100 en un total de 229 localidades pertenecientes a la cuenca mediterránea. Las simulaciones se llevan a cabo a partir de futuras proyecciones de variables climáticas en dos escenarios de rutas de concentración representativa (RCP), siendo una un escenario estable (RCP 4.5) y otra un escenario cambiante (RCP 8.5) de emisiones de gases efecto invernadero.

Como se muestra en la figura 5.6. observamos que la cuenca mediterránea presenta un balance hídrico negativo, sin conformar un patrón geográfico totalmente definido,

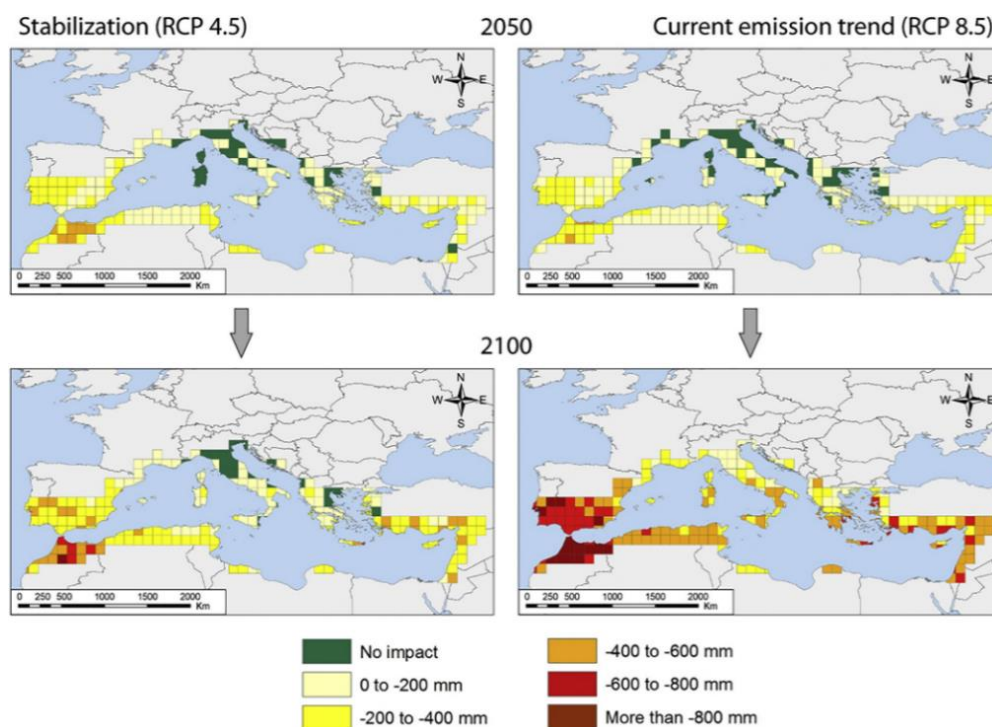
aunque se muestra una mayor disminución del balance hídrico en el borde costero oriental.



**Figura 5.7.:** Balance hídrico anual (1981-2013) de las 229 localidades estudiadas bajo condiciones constantes.

**Fuente:** Lefebvre et al., (2019).

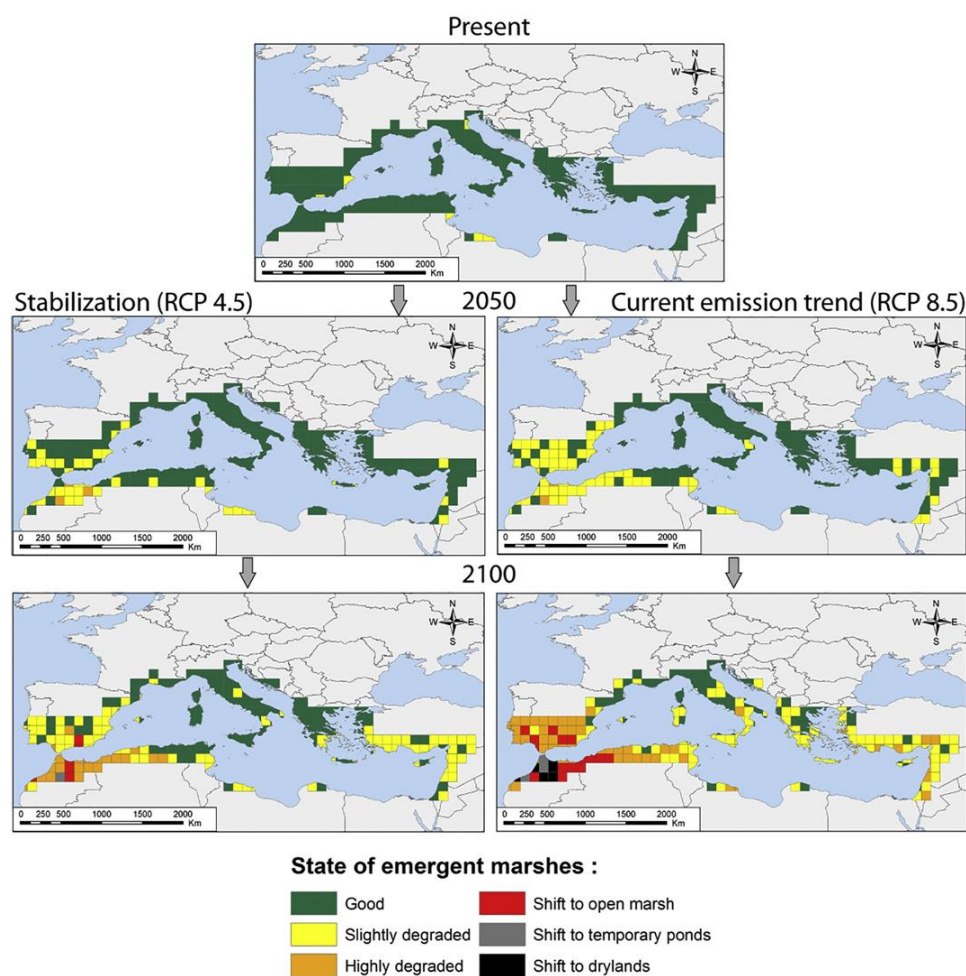
Sin embargo, en cuanto se estudian los modelos de predicción RCP 4.5 y RCP 8.5 tanto para 2050 como para 2100 se observa un patrón geográfico claro como se muestra en la Fig. 5.7. Se observa que en 2050 para ambos modelos predictivos el patrón geográfico es muy parecido, mientras que para 2100 sí que se muestran discrepancias entre RCP 4.5 y RCP 8.5, mostrando un gran deterioro en la Península Ibérica, norte de África y borde costero oriental. Esto nos indica que Portugal, España, Marruecos, Argelia, Turquía, Siria e Israel serían los países más propensos al aumento del déficit hídrico, mientras que los países que se verían menos afectados serían Francia, Italia, Croacia, Albania y Grecia.



**Figura 5.8.:** Cambios en el balance hídrico en los casos RCP 4.5 y RCP 8.5 en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero en las 229 localidades.

**Fuente:** Lefebvre et al., (2019).

Todo esto se traduce en una serie de cambios que experimentarán o podrían experimentar los humedales mediterráneos a lo largo del tiempo como se puede observar en la Fig. 5.8., donde se prevé que las zonas donde los cambios serán más bruscos en la costa norte africana, en la Península Ibérica y costa oriental mediterránea, mientras que los cambios más leves o las zonas que no experimentarán prácticamente cambios serán las costas más céntricas. La capacidad resiliente de los humedales está relacionada con la estacionalidad de los mismos, cuyos meses más secos suelen ser los de verano. La evapotranspiración real en los suelos secos es menor que en los húmedos, por lo que el impacto de estrés hídrico en los humedales es menor.



**Figura 5.9.** Cambio del hábitat en marismas según las emisiones de gases efecto invernadero en los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 en las 229 localizaciones.

**Fuente:** Lefebvre et al., (2019).

Esto combinado con la capacidad de almacenamiento de agua de los humedales reduce mucho más el impacto de los meses secos. Por tanto, la situación de los humedales a lo largo del tiempo no sólo de ciñe a la respuesta que generan contra el cambio climático, sino a si el proceso de evapotranspiración se da en suelos secos o húmedos. También se traduce en una pérdida de los servicios ecosistémicos que brindan los humedales, teniendo graves repercusiones tanto a nivel de biodiversidad, de calidad del agua como a las pérdidas económicas y de otra índole que nos supone a la humanidad. Además, como veremos más adelante, el aumento de las temperaturas puede favorecer otros factores que promueven el cambio global como es la introducción de especies exóticas, como es el caso del estudio presentado por Roiz et al., (2014), el cual pone en evidencia la influencia de los cambios de temperatura, humedad, fotoperiodo y otras condiciones similares afecta sobre las poblaciones de varias especies de mosquitos, viéndose beneficiadas poblaciones que

ejercen como vectores de enfermedades que afectan tanto a humanos como a otros vertebrados.

Un estudio realizado por Fatorić et al., (2014) reveló que otra de las consecuencias que conlleva el cambio climático es la migración, ya que el 77% de los entrevistados procedentes de Aiguamolls de l'Empordà (España) y Kotychi-Strofylia (Grecia) revelaron que estarían dispuestos a migrar en consecuencia a las condiciones ambientales, siendo la mayoría de estos españoles. De igual manera, la mayoría de los entrevistados afirmaban ver las consecuencias del cambio global local y afirmaban que ambos humedales costeros no son sostenibles, mostrando mayor concienciación ambiental los españoles frente a los griegos.

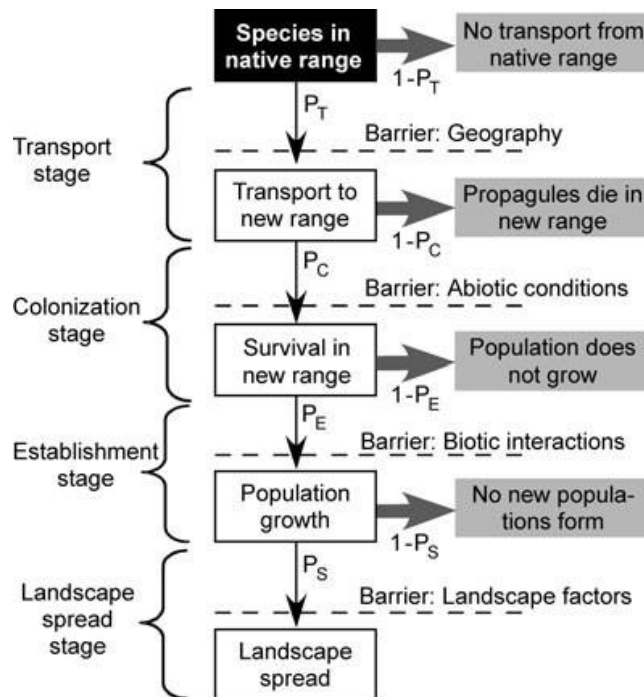
## **5.2. El impacto de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) en los humedales.**

La introducción de especies invasoras puede suponer una gran amenaza a las poblaciones de especies locales, pudiendo llegar incluso a extinguirse, y causar un gran desajuste en los ecosistemas. Dichas especies causan tales estragos por medio de la competición por recursos, introducción de enfermedades, depredación, hibridación con otras especies o degradar el hábitat al que llegan, teniendo estos factores gran repercusión en las especies nativas. Los humedales son especialmente sensibles a la entrada de especies exóticas invasoras debido a que son entornos intermedios entre medio terrestre y acuático, pudiendo ser invadidos por ambos medios (Howard, 1999). Las especies exóticas invasoras pueden aprovechar cambios que se den a raíz de la contaminación, drenaje del humedal, alteración de la concentración de nutrientes... para llevar a cabo la invasión, ya que afecta a la biodiversidad autóctona de manera negativa y al verse debilitada aprovechan para expandirse, usando el agua como medio de dispersión y expansión.

Las especies exóticas invasoras pueden verse favorecidas o perjudicadas por factores como el cambio climático, ya que al variar sus condiciones ambientales puede hacer que los efectos de las especies exóticas invasoras ya establecidas puedan verse disminuido o, por el contrario, hacer que especies nativas cambien su distribución geográfica (Hellmann et al., 2008).

En la Fig. 5.10 podemos observar el modelo de expansión al que se suelen ceñir las especies invasoras, donde se muestra que primeramente una especie invasora debe

pasar desde su ubicación nativa hasta una nueva ubicación, que consiga sobrevivir en esa nueva ubicación, hacer que la población crezca y se establezca, consiguiendo expandirse por la zona (Hellmann et al., 2008).



**Figura 5.10.:** Modelo del proceso de expansión de las especies invasoras.

**Fuente:** Hellmann et al., (2008).

Según la Convención sobre Humedales de Ramsar (1971), las especies invasoras pueden tener efectos sobre el medio acuático (alteración de flujos y ciclos naturales, pérdida de calidad, eutrofización...), efectos sobre los productos, usos y usuarios (cambios en las zonas de pesca y sobre la pesca en sí, repercusiones negativas sobre el pasto, alteración de cosechas en humedales, taponamiento de entrada y salida del humedal, establecimiento de patógenos, cubierta de la superficie del humedal...) y efectos sobre la biodiversidad de los humedales (disminución del número de especies y, por tanto, disminución de la diversidad biológica, cambios en las comunidades, perturbaciones en la distribución de las especies, desecación del humedal...).

Dentro de la Convención sobre los Humedales de Ramsar (1971) se habla también sobre que los humedales se enfrentan contra multitud de especies invasoras de todo tipo, como pueden ser el cangrejo rojo americano, el jacinto de agua, la malvasía canela, el helecho de agua... Las especies exóticas invasoras que cada vez más invaden los humedales mediterráneos son de prácticamente todos los reinos y de gran

multitud de clases y familias. Estas especies exóticas invasoras pueden tener unos efectos nefastos al ecosistema, a la biodiversidad del ecosistema e incluso repercutir en la actividad y bienestar humano.

| Grupos        | Filo            | Clase           | Total            | Apéndice A  |          | Apéndice B   |   |  |
|---------------|-----------------|-----------------|------------------|-------------|----------|--------------|---|--|
|               |                 |                 |                  | Establecido | Incierto | Criptogénico |   |  |
| VERTEBRADOS   | Chordata        |                 | 76               | 41          | 34       | 1            |   |  |
|               |                 | Actinopterygii  | 42               | 32          | 10       | 0            |   |  |
|               |                 | Amphibia        | 8                | 3           | 5        | 0            |   |  |
|               |                 | Reptilia        | 13               | 1           | 12       | 0            |   |  |
|               |                 | Aves            | 8                | 1           | 7        | 0            |   |  |
|               |                 | Mammalia        | 5                | 4           | 0        | 1            |   |  |
| INVERTEBRADOS | Chordata        |                 | 8                | 6           | 2        | 0            |   |  |
|               |                 | Ascidiceae      | 8                | 6           | 2        | 0            |   |  |
|               | Annelida        |                 | 14               | 7           | 7        | 0            |   |  |
|               |                 | Clitellata      | 5                | 3           | 2        | 0            |   |  |
|               |                 | Polychaeta      | 9                | 4           | 5        | 0            |   |  |
|               |                 | Arthropoda      |                  | 67          | 45       | 20           | 2 |  |
|               | Branchipoda     |                 | 3                | 3           | 0        | 0            |   |  |
|               | Hexanauplia     |                 | 4                | 3           | 1        | 0            |   |  |
|               | Ichthyostraca   |                 | 1                | 1           | 0        | 0            |   |  |
|               | Insecta         |                 | 5                | 5           | 0        | 0            |   |  |
|               | Malacostraca    |                 | 30               | 12          | 17       | 1            |   |  |
|               | Ostracoda       |                 | 19               | 17          | 1        | 1            |   |  |
|               | Thecostraca     |                 | 5                | 4           | 1        | 0            |   |  |
|               | Bryozoa         |                 |                  | 7           | 5        | 2            | 0 |  |
|               |                 |                 | Gymnolaemata     | 6           | 5        | 1            | 0 |  |
|               |                 |                 | Phylactolaemata  | 1           | 0        | 1            | 0 |  |
|               | Cnidaria        |                 | 6                | 5           | 1        | 0            |   |  |
|               |                 | Anthozoa        | 1                | 1           | 0        | 0            |   |  |
|               |                 | Hydrozoa        | 5                | 4           | 1        | 0            |   |  |
|               | Ctenophora      |                 | 1                | 1           | 0        | 0            |   |  |
|               |                 | Tentaculata     | 1                | 1           | 0        | 0            |   |  |
|               | Mollusca        |                 | 41               | 29          | 11       | 1            |   |  |
|               |                 | Bivalvia        | 16               | 13          | 3        | 0            |   |  |
|               |                 | Gastropoda      | 24               | 16          | 7        | 1            |   |  |
|               |                 | Polyplocophora  | 1                | 0           | 1        | 0            |   |  |
|               |                 | Nematoda        |                  | 2           | 0        | 1            | 1 |  |
|               | Chromadorea     |                 | 1                | 0           | 0        | 1            |   |  |
|               | Secernentea     |                 | 1                | 0           | 1        | 0            |   |  |
|               | Platyhelminthes |                 | 18               | 17          | 1        | 0            |   |  |
|               |                 | Cestoda         | 1                | 1           | 0        | 0            |   |  |
|               |                 | Monogenea       | 11               | 10          | 1        | 0            |   |  |
|               |                 | Rhabditophora   | 2                | 2           | 0        | 0            |   |  |
|               |                 | Trematoda       | 4                | 4           | 0        | 0            |   |  |
| PLANTAS       | Magnoliophyta   |                 | 32               | 26          | 5        | 1            |   |  |
|               |                 | Liliopsida      | 19               | 16          | 2        | 1            |   |  |
|               |                 | Magnoliopsida   | 13               | 10          | 3        | 0            |   |  |
|               | Pteridophyta    |                 | 3                | 1           | 1        | 1            |   |  |
|               |                 | Polypodiopsida  | 3                | 1           | 1        | 1            |   |  |
| MACROALGAS    | Chlorophyta     |                 | 3                | 1           | 2        | 0            |   |  |
|               |                 | Ulvophyceae     | 1                | 1           | 0        | 0            |   |  |
|               | Ochrophyta      |                 | 4                | 2           | 2        | 0            |   |  |
|               |                 | Phaeophyceae    | 4                | 2           | 2        | 0            |   |  |
|               | Rhodophyta      |                 | 21               | 12          | 8        | 1            |   |  |
| HONGOS        | Rhodophyta      | Florideophyceae | 21               | 12          | 8        | 1            |   |  |
|               |                 | Oomycota        | 2                | 1           | 0        | 1            |   |  |
|               | Oomycetes       |                 | 2                | 1           | 0        | 1            |   |  |
|               |                 | Chytridiomycota |                  | 1           | 1        | 0            | 0 |  |
|               |                 |                 | Chytridiomycetes | 1           | 1        | 0            | 0 |  |
| Total         |                 | 38 clases       | 306              | 200         | 97       | 9            |   |  |

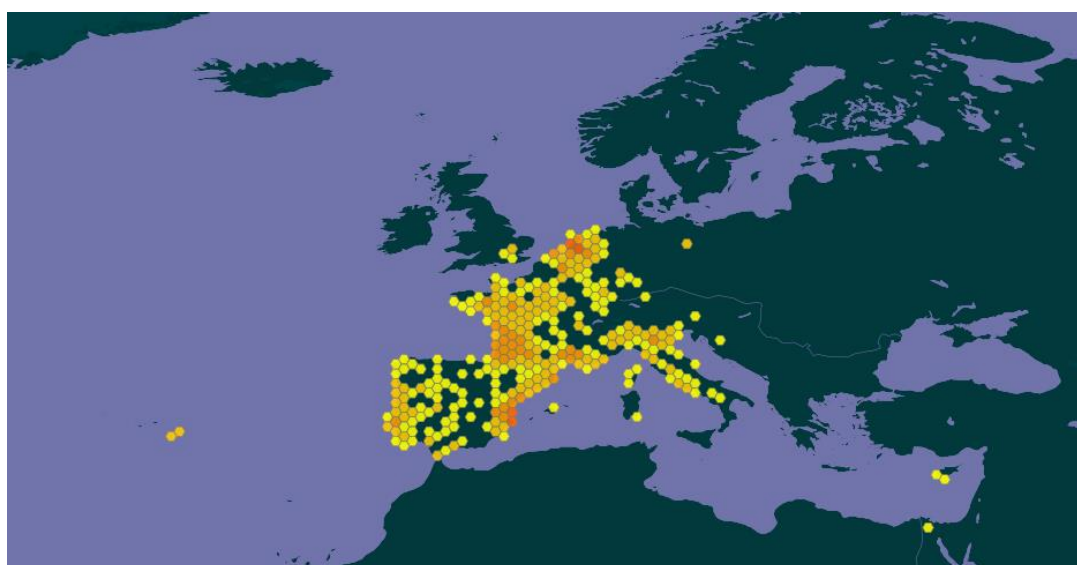
**Tabla 5.3.:** Taxones exóticos acuáticos presentes en las aguas continentales de la Península Ibérica.

**Fuente:** Oliva-Paterna et al., 2021.



Como se muestra en la Tabla 5.3., las aguas continentales de la Península Ibérica hay un total de 39 clases y 306 taxones, estando la mayoría de ellos establecidos. De entre todos los filos destacan Chordata (24,84%), Arthropoda (21,90%), Mollusca (13,40%) y Magnoliophyta (10,46%).

Un perfecto ejemplo de especie exótica invasora en los humedales mediterráneos es el cangrejo rojo americano (*Procambarus clarkii*), el cual fue introducido en humedales europeos debido a la sobreexplotación del cangrejo de río nativo durante el siglo XIX con el fin de restaurar las poblaciones nativas afectadas para poder seguir explotándolas (Lodge et al., 2000). Aunque el cangrejo de río americano no posee unos medios de dispersión muy eficaces, son otras características las que lo hacen una especie con una gran capacidad de dispersión, como el gran número de huevos por puesta, el cuidado de las crías o su gran capacidad de adaptación. El tipo de alimentación y su papel en la cadena trófica también es fundamental, ya que son omnívoros y pueden ser tanto presas como depredadores dentro de la cadena trófica.



**Figura 5.11.** Distribución de *Procambarus clarkii* en la cuenca mediterránea (1869-2021).

**Fuente:** DAISIE (2021).

Varios estudios revelan que la causa de la desaparición de algunas poblaciones de algas macrófitas en humedales del sur de Europa son a causa de la introducción de *Procambarus clarkii* en ellos cuando éstos son adultos (Montes et al.,1993). Cuando los individuos son juveniles su alimentación es principalmente carnívora, siendo depredador de pequeños invertebrados, larvas de insectos y estadios jóvenes de algunos peces, haciendo que sus poblaciones mengüen en ocasiones



considerablemente y compitiendo con otras especies que tienen una dieta igual o similar (Geiger et al., 2005). Además, son portadores de enfermedades como la afanomicosis, un hongo que usa como vector a *Procambarus clarkii* y que es fatal para los cangrejos nativos, por lo que es otra de las causas por las que las poblaciones de cangrejos nativos han disminuido en Europa (Geiger et al., 2005).

Otro ejemplo de especie exótica es el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Esta planta acuática es originaria de la cuenca del Amazonas se ha convertido actualmente en una de las especies exóticas invasoras más extendidas por todo el mundo. *Eichhornia crassipes* fue introducida como planta ornamental en estanques de particulares, extendiéndose a más ecosistemas debido a su gran capacidad de reproducción mediante semillas (reproducción sexual) o estolones (reproducción asexual), las cuales pueden ser esparcidas por fauna, viento... (Forno y Wright 1981).



**Figura 5.12.:** Distribución de *Eichhornia crassipes* en la cuenca mediterránea (1837-2021).

**Fuente:** DAISIE (2021).

Sus efectos pueden llegar a ser nefastos para la biodiversidad de los ecosistemas y para los propios humedales, ya que al crecer en las superficies de los humedales hacen que no llegue luz al fondo, delimita el paso de oxígeno, además de taponar las entradas y salidas de agua del humedal, haciendo que se estanque. Esto se traduce en un cambio de la comunidad de fitoplancton y, por tanto, afectando a la pesca, aves acuáticas, invertebrados múltiples y aumentando la presencia de mosquitos y otros

vectores de enfermedades (Kritiko y Brunel, 2016). El éxito en la propagación de *Eichhornia crassipes* también se debe al uso indiscriminado de fertilizantes en las cuencas hidrográficas de ríos, arroyos y humedales de diversos tipos, ya que son arrastrados por la lluvia hasta ellos (Ruiz et al., 2008). Sin embargo, hay muchos estudios que reflejan diversas utilidades de esta planta, como son la fitoremediación (Poma y Valderrama, 2014), síntesis de carboximetilcelulosa (Tejada et al., 2018), como alimento para ganado (Toussaint et al., 2005), etc.

Otra vía a la que se debe prestar atención es a la de dispersión involuntaria mediante calzado o neumáticos de vehículos de invertebrados, como es *Artemia franciscana* (Waterkeyn et al., 2010). Este tipo de dispersión puede ser beneficiosa para especies autóctonas ya que su rango de dispersión puede verse aumentado, pero también es una posible entrada de especies exóticas invasoras, por lo que se recomienda limpiar bien herramientas, calzado, neumáticos ... antes y después de estar en contacto con sedimento o agua de un humedal.



**Figura 5.13.:** Distribución de *Artemia franciscana* en la cuenca mediterránea (1963-2020).

**Fuente:** DAISIE (2021).

### **5.3. La amenaza de los cambios de usos del suelo para los humedales.**

Las perturbaciones en el medio donde se encuentran los humedales pueden afectar adversamente a la naturaleza del humedal, ya que la fragmentación del medio conlleva un menor tamaño, una biodiversidad más reducida, mayor aislamiento y mayor efecto borde sobre el humedal (Celada y Bogliani, 1993). Muchas de estas

perturbaciones antropogénicas, como las actividades agrícolas, ganaderas, piscicultura..., tienen como consecuencia que se dé en el humedal una situación de estrés hídrico, afectando tanto al volumen de agua como a la superficie del humedal (Zacchei et al., 2011). Esto se puede traducir en perturbaciones que afectan directa o indirectamente al humedal como puede ser la reducción o eliminación de comunidades de especies estrictamente acuáticas o sus fuentes de alimento, reducción o desaparición del medio, cambios estructurales de la biodiversidad (Holm y Clausen, 2006).

El cambio en los usos del suelo afecta de manera muy directa al estado natural de los humedales, ya que éstos mantienen su nivel freático en función de las precipitaciones, presión atmosférica, evaporación y causas antropogénicas (Holm y Clausen, 2006). Un estudio realizado por (Causarano y Battisti, 2009) quiso mostrar la relación que existe entre el nivel del agua y la diversidad de aves estrictamente acuáticas en los humedales, revelando que, evidentemente, al haber cambios bruscos en los niveles del agua la biodiversidad disminuye. Los cambios en la profundidad del agua es un factor clave para aves acuáticas que habitan los humedales, ya que les repercute en la alimentación, la reproducción y la anidación de manera directa (Bancroft et al., 2002). Esto sucede cuando se hace un uso indiscriminado de las reservas de agua subterránea de las que se sustentan los humedales y se usan para, por ejemplos, usos agrícolas y ganaderos. Tras la realización de diversos estudios, se ha llegado a la conclusión de que las cuencas hidrográficas tienen un papel fundamental para los humedales (Gibson et al., 1995), ya que, como se indica en el apartado anterior, el mal uso del territorio como el de la agricultura intensiva con uso de agroquímicos puede favorecer a especies exóticas invasoras como *Eichhornia crassipes* y perjudicar a la biodiversidad autóctona, cuyos efectos sobre la biodiversidad son nefastos.

Por otro lado, el mal uso de los suelos como puede ser la explotación indiscriminada de fuentes de agua puede llegar a causar la salinización de ésta, debido a que se aumenta la concentración de sales solubles en agua. La tesis doctoral realizada por Pérez (2012) vienen reflejados los efectos adversos que esto conlleva, como es la infertilidad de la tierra o la pérdida de biodiversidad por motivos ósmicos y tóxicos.

#### **5.4. El efecto de la contaminación en el estado de los humedales.**

El nivel y calidad de las aguas es una preocupación a nivel global a día de hoy, concretamente debido a la presencia de sustancias químicas y contaminantes de origen antropogénico en aguas superficiales (Robles-Molina et al., 2014). Es por ello que the European Union Water Framework Directive (WFD) (Directive 2000/60/EC) trata de crear un compromiso entre los componentes de la UE para que el estado de sus aguas tenga un buen estado ecológico. La contaminación del agua puede afectar de manera negativa a los parámetros físico-químicos y biológicos del agua, pudiendo reducir su calidad drásticamente. Esto puede presentar efectos negativos a varios niveles, ya que no sólo afecta a la calidad del agua, sino que también tiene repercusiones sobre la salud humana, el equilibrio de los ecosistemas, economía... (Arsovski et al., 1991). La región mediterránea se ve gravemente afectada por la actividad humana de diversas formas, como son la agricultura, la industria y otro tipo de actividades antropológicas, viéndose en los últimos más agravada debido a la gran sobrepoblación que soporta la cuenca mediterránea, alrededor de 800 habitantes/Km<sup>2</sup> (Milovanovic, 2007).

La contaminación por metales pesados en la cuenca mediterránea debido a la industrialización es uno de los factores claves de la degradación de los humedales mediterráneos y, por tanto, de sus cualidades. La actividad humana suele generar desechos en las zonas de captación, pudiendo ser arrastrados a ríos, arroyo o cualquier tipo de humedal a causa de la lluvia (Barbosa et al., 2012). Por tanto, toda la contaminación que se genera o deposita en toda la cuenca acaba en el cuerpo acuoso, llegando a ser una fuente de contaminación puntual (Malaviya y Singh, 2012). En verano, las fuentes naturales de agua de las que se abastecen los humedales suelen secarse, por lo que el agua proviene principalmente desde ríos y arroyos cuya agua proviene de zonas urbanas o industriales, pudiendo arrastrar con ella contaminantes como metales pesados. La actividad humana también puede influir en la calidad de las aguas subterráneas, por lo que también se pueden ver perjudicados los humedales que dependen total o parcialmente de las aguas subterráneas (Dimitriou et al., 2008).

Además de los vertidos procedentes de la industria, existe otro tipo de contaminación como es la contaminación térmica, la cual se da debido al uso que se le da al agua como medio de refrigeración industrial y que después vuelven a los ríos. Esto hace

que la temperatura del agua aumente y disminuya su capacidad de retener oxígeno disuelto en ella, por lo que afecta directamente a la biodiversidad del humedal (Rodríguez, 2010). El aumento de la temperatura acuática también se puede traducir en la desaparición de especies estenoicas e incluso inducir a la introducción de especies exóticas invasoras.

A lo largo del siglo XX, la actividad humana ha ido aumentando en la costa norte mediterránea, es decir, países del sur de Europa, a causa del aumento de la actividad industrial, haciendo que la cantidad de contaminantes en los ríos. En estos países, a pesar de que se realizan tratamientos de aguas industriales se siguen vertiendo metales y otros contaminantes a las aguas (Guittonny-Philippe et al., 2013). Sin embargo, en los países de la cuenca sur mediterránea, las aguas industriales se vierten a los ríos sin ningún tipo de tratamiento previo (Giorgetti et al., 2011); (Milovanovic, 2007). A pesar de ello, se han llevado a cabo menos estudios que evalúen la contaminación por metales en los países del sur de la cuenca mediterránea, donde las principales industrias que vierten metales a las aguas con la textil y de pieles (Giorgetti et al., 2011); (Koukal et al., 2004), plantas fertilizantes... (Herut y Kress, 1997).

Es de gran importancia no dejar de lado el historial de perturbaciones a la que ha sido expuesta una comunidad, ya que las respuestas que pueda tener frente a perturbaciones (individuales o combinadas) dependen de las perturbaciones pasadas (Jansen et al., 2011). Las respuestas ante una perturbación pueden variar dentro de una misma comunidad, pudiendo verse favorecidas (desaparición de la competencia, mejor capacidad adaptativa...) algunas poblaciones mientras que otras pueden disminuir o incluso llegar a desaparecer (Barbosa et al., 2017). La contaminación de humedales por productos químicos usados en la agricultura intensiva es muy común debido a que pasan de los cultivos a las masas de agua por escorrentía. El estudio realizado por (López-Valcarcel et al., 2021) sobre *Daphnia magna* reveló cómo afecta a las poblaciones la exposición de primeramente un insecticida como es el dimetoato, después un herbicida (glifosato) y a un factor de estrés ambiental como es la escasez de alimento. El estudio reveló la importancia de tener en cuenta el historial de perturbaciones, ya que a pesar de que las concentraciones administradas eran subletales, al generarse metabolitos que se pueden combinar entre sí provocan una respuesta negativa de las poblaciones ante un nuevo fenómeno de estrés ambiental (glifosato y escasez de alimento). Otro estudio realizado por Robles-Molina reveló

datos sobre el nivel de contaminación en un total de 19 lugares en todo Jaén, entre los que se encuentran 3 ríos, 5 embalses y 11 humedales, reveló datos alarmantes en cuanto al nivel y número de contaminantes detectados. Durante el muestreo en ríos se detectaron plaguicidas como oxifluorfen y terbutilazina en todas las muestras realizadas en el río Guadalquivir, además de fármacos como codeína y paracetamol (presentes en aproximadamente el 45% de las muestras), estimulantes como nicotina, cafeína y sus metabolitos (presentes en menos del 45% de las muestras) y HAPs como el fluoreno, el pireno (ambos en el 100% de las muestras) y el fenantreno (presente en el 91% de las muestras). Se realizaron comparaciones entre los ríos analizados y 38 de los 40 contaminantes presentes en el Guadalimar (afluente del Guadalquivir) se encuentran entre los 45 contaminantes encontrados en el Guadalquivir. Dos de los contaminantes encontrados en las muestras realizadas en ríos superan los niveles impuestos por la Directiva 2013/39/UE, los cuales son hexaclorobenceno (Guadalquivir) y clorpirifos (Guadalimar), ambos contaminantes son productos utilizados en los olivares intensivos.

En cuanto a los humedales, en el 100% de las muestras se detectaron fluoreno, pireno, terbutilazina y clorpirifos, pero todos ellos por debajo de los niveles establecidos por la Directiva 2013/39/UE. La terbutilazina es un herbicida usado comúnmente en olivares en dos épocas del año con la intención de erradicar la vegetación basal del olivo y facilitar la recogida del fruto. También se detectaron nicotina, cafeína y cotinina, pero no ningún fármaco en concentraciones considerable, por lo que se piensa que los niveles de estas tres últimas sustancias se deben al uso recreativo de las zonas perimetrales y de la escorrentía.

Por último, en cuanto a embalses, se determinó que el embalse menos contaminado de los 5 que se estudiaron es el embalse del Quiebrajano, teniendo los niveles de contaminantes de cada uno de los embalses por debajo de los límites establecidos por la Directiva 2013/39/UE. De nuevo, uno de los contaminantes más destacados en el análisis es, en este caso, prometon, un herbicida comúnmente utilizado en los olivares.

### **5.5. Los efectos de la eutrofización en los humedales.**

La eutrofización se puede describir como el enriquecimiento del agua con

nutrientes como el fósforo o el nitrógeno, o materia orgánica, provocando un crecimiento anormal tanto de algas como de diversas formas vegetales, provocando una desestructuración del ecosistema, pérdida parcial o total de sus funciones ecosistémicas, del equilibrio biológico y de la calidad del ecosistema en referencia a su estado original (Andersen et al., 2006). Muchos de los productos agrosanitarios que se utilizan en la agricultura intensiva tienen una alta concentración tanto de nitrógeno como de fósforo, los cuales acaban en los humedales debido a la escorrentía.

El efecto que provoca en los humedales es el de incrementar la materia orgánica que al descomponerse hace que disminuya la concentración de oxígeno disuelto, quedando el humedal en condiciones anóxicas y provocando la desaparición de los seres vivos que originalmente la habitaban (Dorgham, 2010), siendo algunas algas incluso tóxicas. Gran ejemplo de eutrofización es el que se da en las bahías de Abu Qir y de El-Mex (Egipto), ya que en esas zonas hay una gran actividad agrícola, ganadera y de otro tipo de actividades humanas cuyos residuos acaban en los humedales por escorrentía o por descarga de agua.

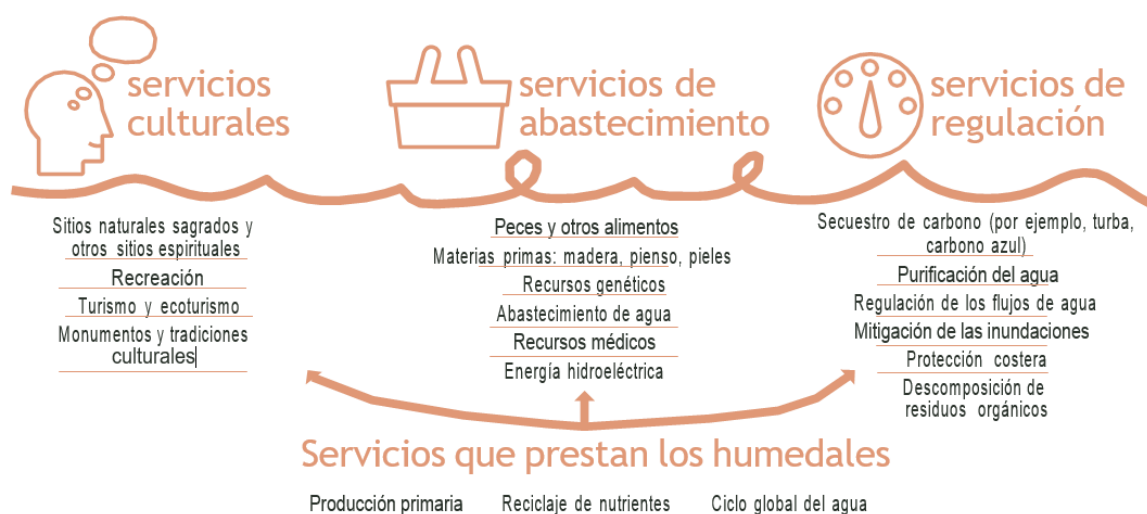
Las fluctuaciones de nutrientes en su estado inorgánico P y N hacen que se den variaciones en la composición de las poblaciones de algas de los humedales, pasando a formas de mayor calibre de diatomeas y a dinoflagelados (Furnas et al., 2005), habiendo casos reportados no sólo en la cuenca mediterránea, sino en todo el mundo. Las floraciones algales nocivas o FAN (en inglés HAB) son también un fenómeno muy extendido por todo el mundo cuyo origen está en la eutrofización. Un gran ejemplo de esto es la problemática que hay con las floraciones de algas en las costas griegas, las cuales provocan la desestructuración de las poblaciones e incluso problemas de salud (Ignatiades y Gotsis-Skretas, 2010). Según una recopilación de datos que va desde 1977 a 2008, en las costas griegas se encontraron un total de 61 especies que provocan el fenómeno FAN que se pueden clasificar como tóxicas (TX), potencialmente tóxicas (PT) y no tóxicas con alta tasa de producción de biomasa (HB), entre las que se encuentran diatomeas, dinoflagelados, haptofitas, cloromonadophytes y cianobacterias (Ignatiades y Gotsis-Skretas ,2010), cuyas consecuencias deriva en pérdidas económicas y repercusiones tanto de la fauna marina como del ser humano.

En España tenemos dos grandes casos de eutrofización tanto en el mar Menor como en la Albufera de Valencia. El estudio realizado por Álvarez Rogel et al., (2016) habla sobre el problema que sufre el mar Menor en cuanto a la eutrofización y la

contaminación de las aguas por metales pesados, ambas causas producidas por la actividad antropocénica que se lleva a cabo en los alrededores del mar Menor. En cuanto a la eutrofización producida por los fosfatos y nitratos en las aguas, en el estudio se llega a la conclusión de que para paliar esta problemática los vertidos de aguas cargadas o lixiviados de nitratos y fosfatos por parte de la industria agrícola o las plantas depuradoras de agua. Otra opción podría ser la de crear humedales artificiales donde se depurará el agua antes de que llegara a la laguna principal. En el caso de la Albufera valenciana, Martín et al., (2020) presentan un estudio de seguimiento del humedal costero a lo largo de los últimos 50 años, el cual ha ido empeorando cada vez más debido a las actividades de carácter principalmente agrícola que se llevan a cabo en la zona. Al igual que en trabajo anterior, una de las alternativas a dicha problemática es la de construir humedales artificiales que depuren las aguas antes de llegar al humedal principal, ya que el cese de vertidos contaminantes es algo prácticamente utópico.

## 6. RELACIÓN ENTRE LA SALUD DE LOS HUMEDALES Y LA SALUD HUMANA.

El Cambio Global además de tener repercusiones negativas sobre el estado de los humedales también lo tiene sobre la salud humana, ya que la salud de los humedales y la salud humana están más íntimamente relacionadas de lo que comúnmente se piensa. Los humedales prestan a la humanidad una serie de servicios ecosistémicos que son beneficiosos para nosotros en varios ámbitos como la economía, alimentación, industria... en la que incluimos la salud humana.



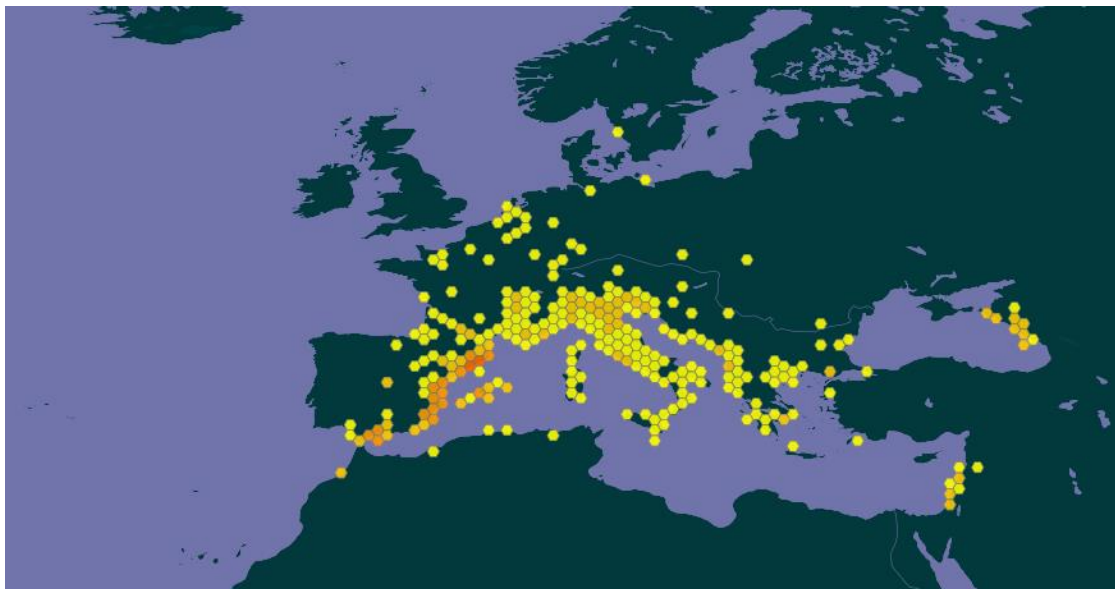
**Figura 6.14.:** Servicios ecosistémicos de los humedales.

**Fuente:** Convención de Ramsar sobre los Humedales (2018).



Los humedales nos prestan servicios que mejoran nuestra salud física y mental como son los servicios culturales (turismo/ecoturismo, actividades recreativas, meditación, lugares espirituales o sagrados...) que benefician mayoritariamente a nuestra salud mental y los servicios de abastecimientos y regulación (obtención de alimentos y materia prima, recursos médicos, purificación del agua, secuestro de carbono...) que afectan a nuestra salud física. Por tanto, la mala gestión de los humedales combinado con el cambio global afecta directa o indirectamente a la salud humana.

En las últimas décadas se ha observado un claro aumento en la detección de nuevas enfermedades, dándose a su vez un aumento de la incidencia y distribución de enfermedades transmitidas por vectores (ETV) (Gubler, 2010). Un claro ejemplo de ello es el gran aumento de arbovirosis en las últimas décadas, sobre todo las que son transmitidas por mosquitos (Ordoñez et al., 2020). Tanto el aumento de las temperaturas como el colapso de los humedales son dos de las condiciones óptimas para la propagación del mosquito tigre (*Aedes albopictus*), especie exótica invasora procedente del sudeste asiático que está expandido a nivel mundial.

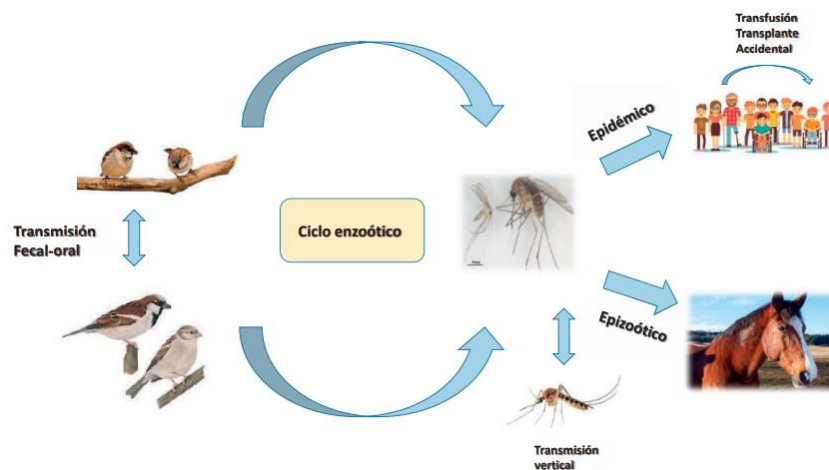


**Figura 6.15.** Distribución de *Aedes albopictus* en la cuenca mediterránea (1900-2021).

**Fuente:** DAISIE (2021).

Otro ejemplo es el del Virus del Nilo Occidental, cuya expansión se ve favorecida debido al aumento de las temperaturas que permiten que las especies migrantes amplíen su estancia, ampliando a su vez su gama de vectores transmisores (Waits et al., 2018). Se trata de una enfermedad hemizoonótica y metazoonótica que tiene como

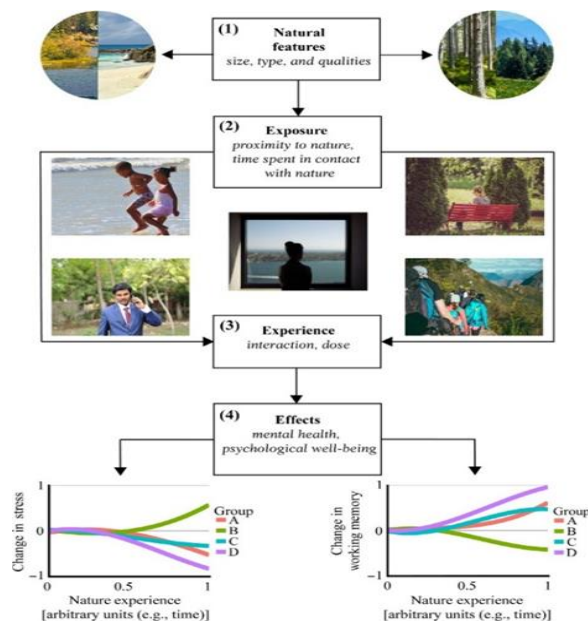
vector de transmisión los mosquitos del género *Culex ssp.* (Ordoñez et al., 2020). Esta enfermedad es emergente y su rebrote más significativo en España se dio el pasado agosto de 2020 en la provincia de Sevilla con 42 personas infectadas, 9 de ellas en UCI y 2 fallecidos.



**Figura 6.16.** Ciclo de vida del Virus del Nilo Occidental.

**Fuente:** Ordoñez et al., (2020).

No debemos dejar de lado dentro del ámbito de la salud y el bienestar a la salud mental, ya que siempre ha jugado un papel clave en la sociedad y más aún durante la pandemia provocada por el SARS-CoV-2. Existen estudios científicos en laboratorio controlados que revelan datos positivos contra los signos de fatiga mental ante la exposición tanto de imágenes como de sonidos relacionados con la naturaleza (Ulrich et al., 1991), al igual que también existen estudios que exponen diferencias entre pasear en parajes naturales y en zona urbana (Aspinall et al., 2015).



**Figura 6.27.** Modelo conceptual de salud mental como servicio ecosistémico.

**Fuente:** Bratman et al., (2019).

En la Fig. 6.17 observamos como los efectos en la salud mental depende de las características de la zona natural a la que se expone (tamaño, tipo y características), el tipo de exposición (proximidad a la naturaleza, tiempo empleado...) y la experiencia, es decir, las actividades realizadas, interacción con la naturaleza e intensidad. Los efectos en la salud mental de los individuos también estarán influenciados por otro tipo de factores como son la edad o el contexto sociocultural o económico, habiendo determinados grupos cuyos resultados netos sean negativos debido a su aversión o imposibilidad de tener contacto con la naturaleza o espacios verdes urbanos.

## 7. MEDIDAS CONTRA EL CAMBIO GLOBAL.

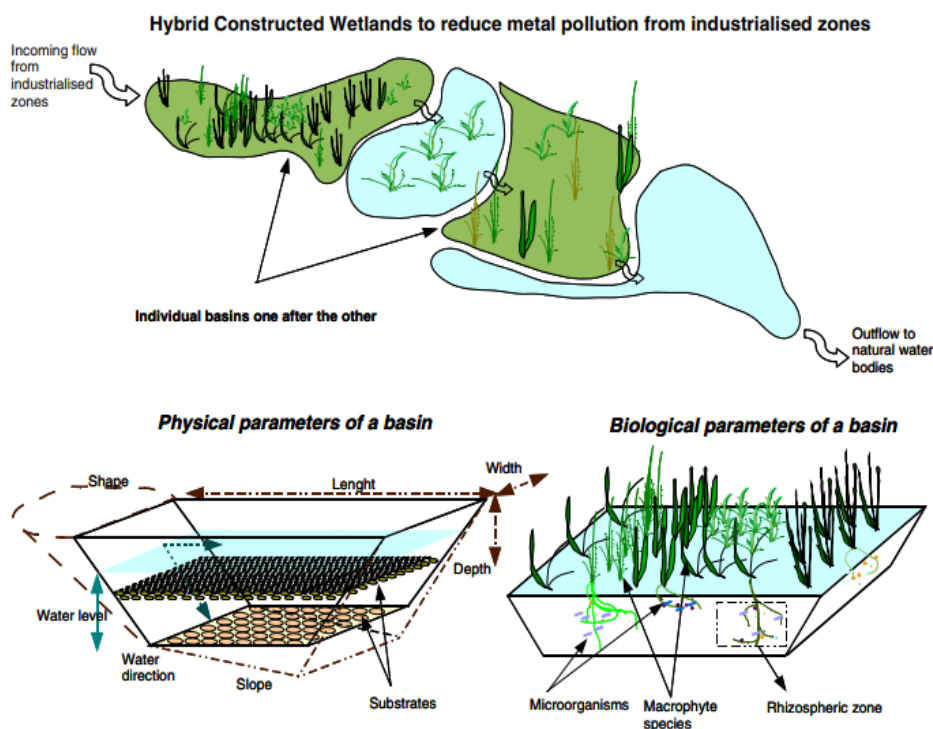
Como se ha visto en los anteriores puntos, los humedales prestan una serie de servicios ecosistémicos, siendo de gran interés contra el cambio global los servicios de regulación.

Uno de estos servicios ecosistémicos es la captación de carbono, ya que los humedales son considerados unos grandes sumideros de CO<sub>2</sub> y emisores de CH<sub>4</sub> y NO<sub>2</sub>. Forman un elemento fundamental para mantener la temperatura del planeta, ya que el CO<sub>2</sub> es considerado un gas de efecto invernadero (Arellano et al., 2013).

Los humedales de agua salada como los manglares o las marismas constan con un tipo de vegetación con una tasa de producción bastante alta, capaces de fija el carbono a través de la fotosíntesis y fijando ese carbono en suelos anaeróbicos

húmedos, lo que es denominado como “carbono azul de humedales costeros” (Moomaw et al., 2018).

La purificación del agua es otro de los servicios ecosistémicos que nos brindan los humedales y que actualmente se realizan proyectos relacionado con esto. Los CW se usan como sistemas de tratamiento de aguas residuales que constan de varios módulos de tratamientos como los procesos biológicos, químicos y físicos, análogos a los procesos que suceden de forma natural en los humedales (Babatunde et al., 2008). Los humedales artificiales son un conjunto de cuencas individuales que constan de sustrato mineral, plantados con la vegetación natural de los humedales e incluyendo microbiota asociada a los procesos de tratamientos de aguas residuales (Zhang et al., 2010). Los humedales artificiales (CW) se pueden usar contra fuentes de contaminación no puntuales, usándose actualmente a nivel de cuenca para reducir la contaminación generada por la actividad agrícola en zonas de clima templado a nivel global (Maillard et al., 2011); (Ockenden et al., 2012). En general, los CW híbridos tienen una adaptación mejor dentro del sistema en cuestión y de aguas residuales, siendo, en general, las plantas macrófitas las más usadas en los CW (Vymazal, 2005). La zona activa del humedal es la rizosfera que es donde se dan lugar los procesos fisicoquímicos y biológicos llevado a cabo por las interacciones entre las raíces de la vegetación, microorganismos, sustrato del humedal y contaminantes (Stottmeister et al., 2003).



**Figura 7.18.:** Representación gráfica de humedales híbridos contruidos para reducir la contaminación por metales en las zonas industrializadas.

**Fuente:** Guittonny-Philippe et al., (2013).

En la Fig. 7.18. se puede observar cómo es la serie de reacciones que se dan a nivel de la rizosfera. Los metales se pueden absorber tanto en la raíz como en la materia orgánica en descomposición (Guilizzoni, 1991). Pueden estar en estado sólido como soluto soluble o como precipitado por secreciones de la vegetación del humedal, siendo los solubles absorbidos por las plantas a través de las raíces y transportados hasta los brotes (Stottmeister et al., 2003). Por otra parte, los metales pueden ser absorbidos por microorganismos a través de su superficie o incluso por ellos mismos (Sheoran y Sheoran, 2006), pudiendo cambiar la naturaleza química y su disponibilidad en el medio. Los metales pueden adherirse al sustrato, ser absorbido por él o filtrarse a través de él (Sheoran y Sheoran, 2006); (Stottmeister et al., 2003). Tanto la vegetación como el sustrato forman parte del hábitat de los microorganismos, pudiendo la vegetación producir sustancias tóxicas contra microorganismos patógenos que pudieran perjudicar a los microorganismos originales (Marchand et al., 2010); (Stottmeister et al., 2003), y liberar oxígenos a través de las raíces, haciendo que el equilibrio redox de la rizosfera se desplace. Esto hace que pueda haber diversos nichos ecológicos a nivel de la rizosfera y aumentar la diversidad microbiana (Faulwetter et al., 2009). Las plantas difieren en la sensibilidad ante los metales, concentración y reacciones en función a la especie, pudiendo ser algunas muy útiles a la hora de usarlas como elemento eliminador de metales por absorción. Lo más recomendable en ambientes mediterráneos es que se utilicen macrófitas autóctonas para evitar la entrada de especies invasoras y, además, incentivar la biodiversidad propia (Guittonny-Philippe et al., 2013).

Los humedales también son esenciales en cuanto a la regulación hídrica, ya que mitigan los efectos del oleaje (manglares y marismas) o las inundaciones gracias a su vegetación. Estudios como el de Waryszak et al., (2021) revelan cómo aprovechando la capacidad que tienen humedales como los manglares o las marismas se pueden mitigar los efectos adversos que conlleva la degradación de la zona costera. En este estudio se propone la combinación de infraestructuras grises (construcciones llevadas a cabo por el hombre) con las infraestructuras verdes o naturales, basándose en ecoingeniería híbrida. Este tipo de proyectos son muy innovadores y se necesita de

más investigación de nueva tecnología para aplicarla en próximas infraestructuras de carácter híbrido para mitigar riegos naturales similares a este.

## **8. CONCLUSIONES.**

Contestando a los objetivos anteriormente citados, se concluye que los temas más encontrados son los relacionados con el cambio climático y con el cambio en el uso de los suelos en los últimos años (2000-2021). Sin embargo, la documentación utilizada para la realización de este trabajo muestra que la mayoría de la documentación empleada para la elaboración del trabajo se enfocan más a la contaminación y al cambio climático.

Atendiendo a los artículos leídos, el estado actual de los humedales mediterráneos es consecuencia de la mala gestión de las aguas residuales procedentes de industrias como la minera, agro-alimentaria o textil, viéndose empeorada la situación cada vez más.

Como solución, la más repetida ha sido la de aprovechar los conocimientos sobre los servicios ecosistémicos que ofrecen los humedales naturales y aplicarlos a los humedales artificiales o contruidos (CW), además de aplicar técnicas híbridas, combinando estructuras verdes con grises.

## **9. AGRADECIMIENTOS.**

Me gustaría agradecer tanto a las personas cercanas a mí como a mis compañeros y profesorado de la Universidad de Jaén que me han brindado de una manera u otra su apoyo durante la elaboración de este trabajo. Sin ellos no hubiera sido posible. Gracias a las personas que llegaron y a las que se quedaron en el camino, por su apoyo incondicional y constante.

## **10. BIBLIOGRAFÍA.**

ÁLVAREZ ROGEL, J., GONZÁLEZ ALCARAZ, M. N., CONESA ALCARAZ, H. M., TERCERO GÓMEZ, M. D. C., PÁRRAGA AGUADO, I. M., MARÍA CERVANTES, A., y JIMÉNEZ CÁRCELES, F. J. (2016): "Eutrofización y contaminación por residuos mineros en humedales del Mar Menor: comprendiendo los procesos biogeoquímicos para plantear posibles actuaciones de manejo". En León, V.M y J.M. Bellido (eds): *Mar Menor: una laguna singular y sensible*. Evaluación científica de su estado. Madrid,

Instituto Español de Oceanografía, Ministerio de Economía y Competitividad, 2016. Temas de Oceanografía, 9. pp 251-270.

ANDERSEN, J. H., SCHLÜTER, L. y ÆRTEBJERG, G. (2006): "Coastal eutrophication: recent developments in definitions and implications for monitoring strategies", *Journal of plankton research*, 28(7), pp. 621-628.

ARELLANO, E., MEZA, F., MIRANDA, M. y CAMAÑO, A. (2013): "Cambio global: el cuidado de los humedales y su rol en el secuestro de carbono".

ARSOVSKI, T., ARSOVSKI, M., CVETKOVSKI, M., ARSOV, L., PETROVSKI, A. y VASILEVSKA, L. J. (1991): "Study for the Protection of the Water Resources from Pollution of the River Vardar and its Tributaries", *Civil Engineer Institute Publications, Skopje*.

ASPINALL, P., MAVROS, P., COYNE, R. y ROE, J. (2015): "The urban brain: analysing outdoor physical activity with mobile EEG", *British journal of sports medicine*, 49(4), pp. 272-276.

BABATUNDE, A. O., ZHAO, Y. Q., O'NEILL, M. y O'SULLIVAN, B. (2008): "Constructed wetlands for environmental pollution control: a review of developments, research and practice in Ireland", *Environment International*, 34(1), pp. 116-126.

BANCROFT, G. T., GAWLIK, D. E. y RUTCHEY, K. (2002): "Distribution of wading birds relative to vegetation and water depths in the northern Everglades of Florida, USA", *Waterbirds*, 25(3), pp. 265-277.

BARBOSA, A. E., FERNANDES, J. N. y DAVID, L. M. (2012): "Key issues for sustainable urban stormwater management", *Water research*, 46(20), pp. 6787-6798.

BARBOSA, M., INOCENTES, N., SOARES, A.M. y OLIVEIRA, M., (2017): Synergy effects of fluoxetine and variability in temperature lead to proportionally greater fitness costs in *Daphnia*: a multigenerational test", *Aquat. Toxicol.* 193, pp. 268-275.

CARDELÚS, B., CASADO, S. y ORTEGA, A., (1996): Un año en la vida de la España salvaje. Editorial Planeta, Barcelona. España, 1996.

CELADA, C. y BOGLIANI, G. (1993): "Breeding bird communities in fragmented wetlands", *Italian Journal of Zoology*, 60(1), pp. 73-80.

COSTANZA R., DE GROOT R., SUTTON P., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S. J., KUBISZEWSKI, I., FARBER, S. y TURNER, R. K., (2014): "Changes in the global value of ecosystem services", *Global Environmental Change*, 26, pp. 152-158.

COHEN, J. E. (1995): "How many people can the Earth support?", *Norton, Nueva York. al Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)*.

CRUTZEN, P. J. y STOERMER, E. F. (2000): "The Anthropocene, Global change newsletter.", *International Geosphere-Biosphere Programme (IGBP)*, 41, pp. 17-18.

DAVIDSON, N. C., FLUET-CHOUINARD, E. y FINLAYSON, C. M. (2018): "Global extent and distribution of wetlands: trends and issues", *Marine and Freshwater Research*, 69(4), pp. 620-627.

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, of 23 October 2000, establishing a framework for community action in the field of water policy. Off J Eur Communities 2000;L327:01–72. (22.12.2000).

Directive 2013/39/EU of the European Parliament and of the Council, of 12 August 2013, amending Directives 2000/60/EC and 2008/105/EC as regards priority substances in the field of water policy. Off J Eur Union 2013;L226:01–17. (24.8.2013).

DIMITRIOU, E., KARAOUZAS, I., SARANTAKOS, K., ZACHARIAS, I., BOGDANOS, K. y DIAPOULIS, A. (2008): "Groundwater risk assessment at a heavily industrialised catchment and the associated impacts on a peri-urban wetland", *Journal of Environmental Management*, 88(3), pp. 526-538.

DORGHAM, M. M. (2010): "Eutrophication problem in Egypt", *Eutrophication: causes, consequences and control*, pp. 171-194.

DUARTE, C., ALONSO, S., BENITO, G., DACHS, J., MONTES, C., PARDO BUENDÍA, M., y VALLADARES, F. (2006): "Cambio global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra", CSIC.

FATORIĆ, S., MORÉN-ALEGRET, R., y KASIMIS, C. (2014): "Exploring climate change effects in Euro-Mediterranean protected coastal wetlands: The cases of Aiguamolls de l'Empordà, Spain and Kotychi-Strofylia, Greece", *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 21(4), pp. 346-360.

FAULWETTER, J. L., GAGNON, V., SUNDBERG, C., CHAZARENC, F., BURR, M. D., BRISSON, J., CAMPER, A.K. y STEIN, O. R. (2009): "Microbial processes influencing performance of treatment wetlands: a review", *Ecological engineering*, 35(6), pp. 987-1004.

FORNO, I. W. y WRIGHT, A. D. (1981): Biology of Australian weeds. 5. *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science*, 47(1), pp. 21-28.

FURNAS, M., MITCHELL, A., SKUZA, M. y BRODIE, J. (2005): "In the other 90%: phytoplankton responses to enhanced nutrient availability in the Great Barrier Reef Lagoon", *Marine pollution bulletin*, 51(1-4), pp. 253-265.



- GARDNER, R. y FINLAYSON, M. (2018): "Convención de Ramsar sobre los Humedales. (2018). Perspectiva mundial sobre los humedales: Estado de los humedales del mundo y sus servicios a las personas", *Secretaría de la Convención de Ramsar*.
- GEIGER, W., ALCORLO, P., BALTANAS, A. y MONTES, C. (2005): "Impact of an introduced Crustacean on the trophic webs of Mediterranean wetlands". *Biological Invasions*, 7(1), pp. 49-73.
- GIBSON, C. E., WU, Y. y PINKERTON, D. (1995): "Substance budgets of an upland catchment: the significance of atmospheric phosphorus inputs", *Freshwat. Biol.*, 33, pp. 385-392.
- GIORGETTI, L., TALOUIZTE, H., MERZOUKI, M., CALTAVUTURO, L., GERI, C. y FRASSINETTI, S. (2011): "Genotoxicity evaluation of effluents from textile industries of the region Fez-Boulmane, Morocco: a case study", *Ecotoxicology and environmental safety*, 74(8), pp. 2275-2283.
- GIORGI, F. (2006): "Climate change hot-spots", *Geophysical research letters*, 33(8).
- GUBLER, D.J. (2010): "The global threat of emergent/re-emergent vector-borne diseases", *Vector biology, ecology and control*, pp. 39-62.
- GUITTONNY-PHILIPPE, A., MASOTTI, V., HÖHENER, P., BOUDENNE, J. L., VIGLIONE, J. y LAFFONT-SCHWOB, I. (2014): "Constructed wetlands to reduce metal pollution from industrial catchments in aquatic Mediterranean ecosystems: A review to overcome obstacles and suggest potential solutions", *Environment International*, 64, pp. 1-16.
- GRANT, G. (2012): *Ecosystem services come to town: greening cities by working with nature*. John Wiley y Sons.
- HERUT, B. y KRESS, N. (1997): "Particulate metals contamination in the Kishon River estuary, Israel", *Marine Pollution Bulletin*, 34(9), pp. 706-711.
- HOLM, T. E. y CLAUSEN, P. (2006): "Effects of water level management on autumn staging waterbird and macrophyte diversity in three Danish coastal lagoons", *Biodiversity y Conservation*, 15(14), pp. 4399-4423.
- HOWARD, G. (1999): *Especies invasoras y humedales. Ramsar COP7 DOC*. U. I. C. N., del África, O. R., y Oriental, N. <https://www.ramsar.org/es>
- IGNATIADES, L. y GOTSIS-SKRETAS, O. (2010): "A review on toxic and harmful algae in Greek coastal waters (E. Mediterranean Sea)", *Toxins*, 2(5), pp. 1019-1037.

JANSEN, M., COORS, A., STOKS, R. y DE MEESTER, L., (2011): "Evolutionary ecotoxicology of pesticide resistance: a case study in *Daphnia*", *Ecotoxicology* 20(3), pp. 543-551.

HELLMANN, J.J., BYERS, J.E., BIERWAGEN, B.G. y DUKES, J.S. (2008): "Five Potential Consequences of Climate Change for Invasive Species", *Conservation Biology*, 22(3), pp. 534–543.

CGM, K.G. y BATTJES, J.J. (1997): *Base de datos de cien años (1890–1990) para evaluaciones ambientales integradas (HYDE, versión 1.1)*. Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM), Bilthoven, Países Bajos.

KOUKAL, B., DOMINIK, J., VIGNATI, D., ARPAGAU, P., SANTIAGO, S., OUDDANE, B. y BENAABIDATE, L. (2004): "Assessment of water quality and toxicity of polluted Rivers Fez and Sebou in the region of Fez (Morocco)", *Environmental Pollution*, 131(1), pp. 163-172.

KRITICOS, D. J. y BRUNEL, S. (2016): "Assessing and managing the current and future pest risk from water hyacinth, (*Eichhornia crassipes*), an invasive aquatic plant threatening the environment and water security", *PloS one*, 11(8).

LEFEBVRE, G., REDMOND, L., GERMAIN, C., PALAZZI, E., TERZAGO, S., WILLM, L. y POULIN, B. (2019): "Predicting the vulnerability of seasonally-flooded wetlands to climate change across the Mediterranean Basin", *Science of the Total Environment*, 692, pp. 546-555.

LODGE, D.M., TAYLOR, C.A., HOLDICH, D.M. y SKURDAL, J. (2000): "Nonindigenous crayfishes threaten North American fresh-water biodiversity: lessons from Europe", *Fisheries*, 25(8), pp. 7-20.

MAILLARD, E., PAYRAUDEAU, S., FAIVRE, E., GRÉGOIRE, C., GANGLOFF, S. y IMFELD, G. (2011): "Removal of pesticide mixtures in a stormwater wetland collecting runoff from a vineyard catchment", *Science of the Total Environment*, 409(11), pp. 2317-2324.

MALAVIYA, P. y SINGH, A. (2012): "Constructed wetlands for management of urban stormwater runoff", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(20), pp. 2153-2214.

MARCHAND, L., MENCH, M., JACOB, D. L. y OTTE, M. L. (2010): "Metal and metalloid removal in constructed wetlands, with emphasis on the importance of plants and standardized measurements: A review", *Environmental pollution*, 158(12), pp. 3447-3461.

MARTÍN, M., HERNÁNDEZ-CRESPO, C., ANDRÉS-DOMÉNECH, I., y BENEDITO-DURÁ, V. (2020): "Fifty years of eutrophication in the Albufera lake (Valencia, Spain): Causes, evolution and remediation strategies", *Ecological Engineering*, 155, 105932.

MILOVANOVIC, M. (2007): "Water quality assessment and determination of pollution sources along the Axios/Vardar River, Southeastern Europe", *Desalination*, 213(1-3), pp. 159-173.

MITSCH, W. J., y GOSSELINK, J. G. (2000): "The value of wetlands: importance of scale and landscape setting", *Ecological economics*, 35(1), pp. 25-33.

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., y ALTMAN, D. G. (2010): "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement", *Int J Surg*, 8(5), pp. 336-341.

MONTES, C., RENDÓN-MARTOS, M., VARELA L. y CAPPA M. J. (2007): *Manual de restauración de humedales mediterráneos*. Consejería de Medio Ambiente. Sevilla.

MONTES, C., BRAVO-UTRERA, M.A., BALTANÁS, A., DUARTE, C. y GUTIÉRREZ-YURRITA, P.J. (1993): *Bases ecológicas para la gestión del Cangrejo Rojo de las Marismas en el Parque Nacional de Doñana*. ICONA, Ministerio de Agricultura y Pesca, Madrid, Spain.

MOOMAW, W. R., CHMURA, G. L., DAVIES, G. T., FINLAYSON, C. M., MIDDLETON, B. A., NATALI, S. M., J. E. PERRY Y N. ROULET, y SUTTON-GRIER, A. E. (2018): "Wetlands in a changing climate: science, policy and management", *Wetlands*, 38(2), pp. 183-205.

OCKENDEN, M. C., DEASY, C., QUINTON, J. N., BAILEY, A. P., SURRIDGE, B. y STOATE, C. (2012): "Evaluation of field wetlands for mitigation of diffuse pollution from agriculture: Sediment retention, cost and effectiveness", *Environmental Science y Policy*, 24, pp. 110-119.

PEARCE, F. y CRIVELLI, A. J. (1994): *Characteristics of Mediterranean wetlands*. Arles, France: Tour du Valat.

PERENNOU, C., GAGET, E., GALEWSKI, T., GEIJZENDORFFER, I. y GUELMAMI, A. (2020): "Evolution of wetlands in Mediterranean región", en *Water Resources in the Mediterranean Region*, pp. 297-320.

OLIVA-PATERNA F.J., RIBEIRO F., MIRANDA R., ANASTÁCIO P.M., GARCÍA-MURILLO P., COBO F., GALLARDO B., GARCÍA-BERTHOU E., BOIX D., MEDINA L., MORCILLO F., OSCOZ J., GUILLÉN A., ARIAS A., CUESTA J.A., AGUIAR F., ALMEIDA D., AYRES C., BANHA F., BARCA S., BIURRUN I., CABEZAS M.P.,

CALERO S., CAMPOS J.A., CAPDEVILA-ARGÜELLES L., CAPINHA C., CARAPETO A., CASALS F., CHAINHO P., CIRUJANO S., CLAVERO M., DEL TORO V., ENCARNAÇÃO J.P., FERNÁNDEZ-DELGADO C., FRANCO J., GARCÍA-MESEGUER A.J., GUARESCHI S., GUERRERO A., HERMOSO V., MACHORDOM A., MARTELO J., MELLADO-DÍAZ A., MORENO J.C., OFICIALDEGUI F.J., OLIVO DEL AMO R., OTERO J.C., PERDICES A., POU-ROVIRA Q., RODRÍGUEZ-MERINO A., ROS M., SÁNCHEZ-GULLÓN E., SÁNCHEZ M.I., SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ D., SÁNCHEZ-GONZÁLEZ J.R., SORIANO O., TEODÓSIO M.A., TORRALVA M., VIEIRA-LANERO R., ZAMORA-LÓPEZ, A. y ZAMORA-MARÍN J.M. (2021): “Lista de especies exóticas acuáticas de la Península Ibérica (2020). Lista actualizada de las especies exóticas acuáticas introducidas y establecidas en las aguas continentales ibéricas”, *LIFE INVASAQUA (LIFE17 GIE/ES/000515)*, pp. 64.

ORDÓÑEZ, J., BRAVO-BARRIGA, D., GUERRERO-CARVAJAL, F., MARTÍN-CUERO, M., RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, G., FAJARDO, M., QUEROL, R., MARTÍNEZ-ACEVEDO, M., PORTILLA, J., DELGADO, E., ALONSO, J.M., RABASCO, A., SERRANO, F.J., y FRONTERA, E. (2020): “Arbovirosis de carácter neurotrópico de interés en Salud Pública: Importancia de las principales arbovirosis transmitidas por culícidos y flebotomos: virus del Nilo Occidental y Toscana”, *Badajoz Veterinaria*, (19), pp. 6-13.

PÉREZ, R. R. (2012): *Afectación de los agrosistemas de la zona del Caño San Miguel por la salinización de los suelos*, Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid.

POMA LLANTOY, V. R. y VALDERRAMA NEGRÓN, A. C. (2014): “Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de Cadmio (II) y Mercurio (II) con la especie *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua)”, *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), pp. 164-173.

ROBLES-MOLINA, J., GILBERT-LÓPEZ, B., GARCÍA-REYES, J. F., y MOLINA-DÍAZ, A. (2014): “Monitoring of selected priority and emerging contaminants in the Guadalquivir River and other related surface waters in the province of Jaén, South East Spain”, *Science of the Total Environment*, 479, pp. 247-257.

RODRÍGUEZ, J. P. (2010). “Contaminación del agua. Contaminación ambiental en Colombia”, (eds.): *Bogotá: Fundación en causa por el desarrollo humano*, pp. 255-300.

ROIZ, D., RUIZ, S., SORIGUER, R., y FIGUEROLA, J. (2014): "Climatic effects on mosquito abundance in Mediterranean wetlands". *Parasites & vectors*, 7(1), pp. 1-13.

SHEORAN, A. S. y SHEORAN, V. (2006): "Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review", *Minerals engineering*, 19(2), pp. 105-116.

STOTTMEISTER, U., WIEßNER, A., KUSCHK, P., KAPPELMEYER, U., KÄSTNER, M., BEDERSKI, O., MÜLLER, R. A. y MOORMANN, H. (2003): "Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment", *Biotechnology advances*, 22(1-2), pp. 93-117.

TEJADA-TOVAR, C., PAZ-ASTUDILLO, I., VILLABONA-ORTÍZ, A., ESPINOSA-FORTICH, M. y LÓPEZ-BADEL, C. (2018): "Aprovechamiento del Jacinto de Agua (*Eichhornia crassipes*) para la síntesis de carboximetilcelulosa", *Revista Cubana de Química*, 30(2), pp. 211-221.

TÉLLEZ, T. R., LÓPEZ, E. M. D. R., GRANADO, G. L., PÉREZ, E. A., LÓPEZ, R. M. y GUZMÁN, J. M. S. (2008): "The water hyacinth, *Eichhornia crassipes*: an invasive plant in the Guadiana River Basin (Spain)", *Aquatic Invasions*, 3(1), pp. 42-53.

TOUSSAINT, I. F., CRUZ, O. R., ORTIZ, L. R. y SALAS, R. G. (2005): "Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) una alternativa para la alimentación de cerdos en ceba", *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, 6(5), pp. 1-10.

ULRICH, R. S., SIMONS, R. F., LOSITO, B. D., FIORITO, E., MILES, M. A. y ZELSON, M. (1991): "Stress recovery during exposure to natural and urban environments", *Journal of Environmental Psychology*, 11(3), pp. 201-230.

UNITED NATIONS (2003): *Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects: The 2004 Revision and World Urbanization Prospects: The 2003 Revision*. United Nations Publications <http://esa.un.org/unpp>

VYMAZAL, J. (2005): "Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment", *Ecological engineering*, 25(5), pp. 478-490.

WAITS, A., EMELYANOVA, A., OKSANEN, A., ABASS, K. y RAUTIO, A. (2018): "Human infectious diseases and the changing climate in the Arctic" *Environment international*, 121, pp. 703-713.

WARYSZAK, P., GAVOILLE, A., WHITT, A. A., KELVIN, J. y MACREADIE, P. I. (2021): "Combining gray and green infrastructure to improve coastal resilience: lessons learnt from hybrid flood defenses", *Coastal Engineering Journal*, pp. 1-16.

WATERKEYN, A., VANSCHOENWINKEL, B., ELSEN, S., ANTON-PARDO, M., GRILLAS, P. y BRENDONCK, L. (2010): "Unintentional dispersal of aquatic invertebrates via footwear and motor vehicles in a Mediterranean wetland area", *Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems*, 20(5), pp. 580-587.

ZACCHEI, D., BATTISTI, C. y CARPANETO, G. M. (2011): "Contrasting effects of water stress on wetland-obligated birds in a semi-natural Mediterranean wetland", *Lakes y Reservoirs: Research y Management*, 16(4), pp. 281-286.

ZHANG, B. Y., ZHENG, J. S. y SHARP, R. G. (2010): "Phytoremediation in engineered wetlands: mechanisms and applications", *Procedia Environmental Sciences*, 2, pp. 1315-1325.