



UNIVERSIDADE DA CORUÑA  
Facultad de Ciencias

# Grado en Biología

## Memoria del Trabajo de Fin de Grado

**Aspectos éticos del uso de los Organismos Modificados Genéticamente (OMG): el caso del salmón transgénico**

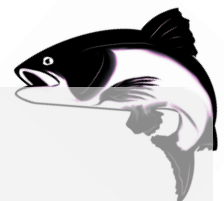
**Aspectos éticos do uso de Organismos Modificados Xeneticamente (OMX): o caso do salmón transxénico**

**Ethical aspects about using Genetically Modified Organisms (GMO): the case of transgenic salmon**



**María Cristina Contreras Álvarez**

**Curso: 2021–2022. Convocatoria: Junio 2022**



*Directora: Dra. Luisa Santos Fidalgo*

## AGRADECIMIENTOS

Tras la finalización del presente trabajo, he de agradecer el apoyo recibido por parte de la **Dra. Luisa Santos Fidalgo**, Profesora Titular de la Facultad de Ciencias de la Universidade da Coruña y directora del presente TFG. Además de haber sentido su presencia académica en todo momento, he recibido un apoyo moral extraordinario, que me ha impulsado a buscar la perfección a través del trabajo diario.

Asimismo, agradezco su predisposición a la hora de aceptar la propuesta en la que se ha basado esta memoria.

De igual manera, agradezco la ayuda recibida por **Isaac Guillermo Darriba López**, bibliotecario en la Facultad de Ciencias de la Universidade da Coruña. Gracias a él he conseguido mejorar enormemente la calidad del trabajo en lo que respecta a la metodología y bibliografía del mismo. Recalcar que su apoyo ha sido totalmente desinteresado, ya que el único fin del mismo ha sido el de ayudar.

Por otro lado, transmitir mi más sincero agradecimiento a todo el profesorado de la Universidade da Coruña, así como a la Institución como tal, por la ayuda recibida durante estos cuatro años.

Finalmente, citar el apoyo constante de mi **familia y amigos**, ya que sin ellos nada de esto hubiera ocurrido. Gracias a:

- **Adelardo Contreras**
- **María del Carmen Álvarez**
- **Carmen Contreras**
- **Sergio Fernández**
- **Nerea Cabeza**

LUISA SANTOS FIDALGO, Profesora Titular de Universidad de la Facultad de Ciencias de la Universidade da Coruña

**INFORMA:**

Que la Memoria del Trabajo de Fin de Grado titulada "Aspectos éticos del uso de los Organismos Modificados Genéticamente (OMG): el caso del salmón transgénico" presentada por Dña. María Cristina Contreras Álvarez, ha sido realizada bajo mi dirección. Considerándola finalizada, autorizo su presentación y defensa.

A Coruña, a 20 de Junio de 2022

**Fdo.:**

**Firma:**

Vº Bº Directora del Trabajo  
Dra. Dña. Luisa Santos Fidalgo

## Índice

<b>RESUMEN / RESUMO / ABSTRACT</b>	<b>i</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Ingeniería genética: Organismos Modificados Genéticamente (OMG)	1
1.2. Preocupaciones éticas: salud humana y medio ambiente	2
1.3. El caso del salmón transgénico: AquaBounty Technologies	3
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
2.1. Objetivo principal	6
2.2. Objetivos secundarios	6
<b>3. METODOLOGÍA</b>	<b>7</b>
3.1. Tipo de Estudio	8
3.2. Criterios de exclusión e inclusión establecidos	8
3.2.1. Criterios de exclusión	8
3.2.2. Criterios de inclusión	8
3.3. Estrategia de búsqueda	9
3.3.1. Bases de datos	10
3.4. Gestión de la bibliografía	10
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>11</b>
4.1. Resultados	11
4.2. Discusión	15
<b>5. CONCLUSIONES / CONCLUSIÓNS / CONCLUSIONS</b>	<b>19</b>
<b>4. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>22</b>
<b>5. ANEXO</b>	<b>26</b>

## Índice de Figuras y Tablas

<b>Figura 1.</b> Empleo de Organismos Modificados Genéticamente para la mejora de productos alimenticios, cuidado del medio ambiente e investigación.....	<b>1</b>
<b>Figura 2.</b> Ingeniería genética, medio ambiente y salud humana: riesgos potenciales y beneficios.....	<b>2</b>
<b>Figura 3.</b> Eje cronológico del salmón <i>AquAdvantage</i> .....	<b>4</b>
<b>Figura 4.</b> Comparación entre un ejemplar de salmón transgénico <i>AquAdvantage</i> y su individuo hermano, no transgénico, durante la fase de crecimiento.....	<b>5</b>
<b>Figura 5.</b> SCOPUS → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión.....	<b>11</b>
<b>Figura 6.</b> Web of Science → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión.....	<b>12</b>
<b>Figura 7.</b> PubMed → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión.....	<b>12</b>
<b>Figura 8.</b> ProQuest → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión.....	<b>13</b>
<b>Figura 9.</b> ProQuest → Eliminación de documentos duplicados → criterios empleados....	<b>13</b>
<b>Figura 10.</b> Diagrama de flujo → Proceso de selección de información.....	<b>14</b>
<b>Figura 11.</b> Número de artículos científicos incluidos según las cuatro bases de datos empleadas.....	<b>15</b>
.....	
<b>Tabla 1.</b> Palabras clave empleadas en cada una de las bases de datos consultadas.....	<b>9</b>
<b>Tabla 2.</b> Bases de datos: Abreviaturas, páginas web y temáticas abordadas.....	<b>10</b>

### RESUMEN

Actualmente, las poblaciones del salmón del Atlántico (*Salmo salar* L.) se encuentran en declive debido, principalmente, a causas antropogénicas (tales como la sobrepesca). Es por ello que en la década de los 90 la empresa *AquaBounty Technologies* produjo una variante transgénica del mismo con el fin de paliar dicha pérdida poblacional.

El presente estudio se basa en la explicación genérica de los Organismos Modificados Genéticamente (OMG), así como del caso específico del salmón *AquAdvantage*. El fin último de ello es proporcionar información acerca de los riesgos potenciales asociados al empleo de OMG en lo que respecta a la salud humana y al medio ambiente. Asimismo, se exponen una serie de pautas éticas de base reguladora acerca del uso de los mismos.

Se destaca que, con el objetivo de recopilar información actual y de índole científica, una de las dos búsquedas bibliográficas realizadas se ha dado bajo estrictos criterios de exclusión e inclusión. La otra búsqueda (sin criterios) se ha realizado con el propósito de contextualizar el concepto de OMG. Los resultados obtenidos muestran una clara oposición acerca del uso de este tipo de organismos. De igual modo, se ha comprobado que resulta elevadamente complejo establecer pautas éticas que regulen la utilización de los OMG debido, en gran parte, a la opinión pública. Finalmente, se observa que la legislación en relación a los OMG difiere según el país.

**Palabras clave:** Organismo Modificado Genéticamente; Ética; Salmón transgénico; *Aquabounty Technologies*.

## RESUMO

Actualmente, as poboacións de salmón atlántico (*Salmo salar* L.) están en declive, principalmente por causas antropoxénicas (como a sobrepesca). É por iso que na década dos 90 a empresa *AquaBounty Technologies* produciu unha variante transxénica do mesmo co fin de paliar dita perda poboacional.

Este estudo baséase na explicación xenérica dos Organismos Modificados Xeneticamente (OMX), así como do caso específico do salmón *AquAdvantage*. O obxectivo final disto é proporcionar información sobre os riscos potenciais asociados ao uso de transxénicos no que respecta á saúde humana e ao medio ambiente. Así mesmo, expóñense unha serie de pautas éticas de base reguladora sobre o seu uso.

Destácase que, co obxectivo de recoller información actual e científica, unha das dúas buscas bibliográficas realizouse baixo estritos criterios de exclusión e inclusión. A outra busca (sen criterios) realizouse coa finalidade de contextualizar o concepto de OMX. Os resultados obtidos mostran unha clara oposición no que respecta ao uso deste tipo de organismos. Do mesmo xeito, quedou demostrado que é moi complexo establecer pautas éticas que regulen o uso de OMX debido, en gran parte, á opinión pública. Finalmente, obsérvase que a lexislación en relación aos transxénicos difire segundo o país.

**Palabras chave:** Organismo Modificado Xeneticamente; Ética; Salmón transxénico; *Aquabounty Technologies*.

## ABSTRACT

Currently, Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) populations are in decline, mainly due to anthropogenic causes (such as overfishing). For this reason, in the 1990s, the company *AquaBounty Technologies* produced a transgenic variant of the same in order to alleviate this population loss.

This study is based on the generic explanation of Genetically Modified Organisms (GMOs), as well as the specific case of the *AquAdvantage* salmon. The ultimate aim is to provide information on the potential risks associated with the use of GMOs with regard to human health and the environment. In addition, a set of regulatory-based ethical guidelines on the use of GMOs is provided.

It should be noted that, in order to gather current and scientific information, one of the two literature searches was conducted under strict exclusion and inclusion criteria. The other search (without criteria) was carried out in order to contextualize the concept of GMOs. The results obtained show a clear opposition to the use of this type of organism. It was also found that it is highly complex to establish ethical guidelines regulating the use of GMOs, largely due to public opinion. Finally, it is observed that legislation on GMOs differs from country to country.

**Keywords:** Genetically Modified Organism; Ethics; Transgenic salmon; *Aquabounty Technologies*.



# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Ingeniería genética: Organismos Modificados Genéticamente (OMG)

Los Organismos Modificados Genéticamente (en adelante OMG) son organismos vivos, tanto vegetales como animales, cuyo genoma ha sido modificado mediante la ingeniería genética (Barros, 2009). Es decir, la alteración no ocurre de manera natural (por apareamiento y/o recombinación) (Champion y Jones, 2015; González Caballero, 2008), sino que se produce mediante la inserción de un gen exógeno en el genoma del huésped de interés (Zhang *et al.*, 2020). Como se puede observar en la **Figura 1**, los OMG son empleados en la actualidad en diversos sectores, tales como la agricultura, la investigación biomédica y la cría de animales. Gracias al empleo de la ingeniería genética se puede aumentar la productividad en ámbitos como el ganadero y/o agricultor, reduciendo a su vez los costos para los propios trabajadores. Asimismo, el producto en sí también puede ser mejorado; un ejemplo de ello es la carne de cerdo, diseñada para contener un menor porcentaje de grasa (Gatew y Mengistu, 2019).

Por otra parte, a pesar de tratar el concepto de OMG desde el punto de vista de la actualidad, el apogeo de dichos organismos comenzó hace años (en la década de los noventa).

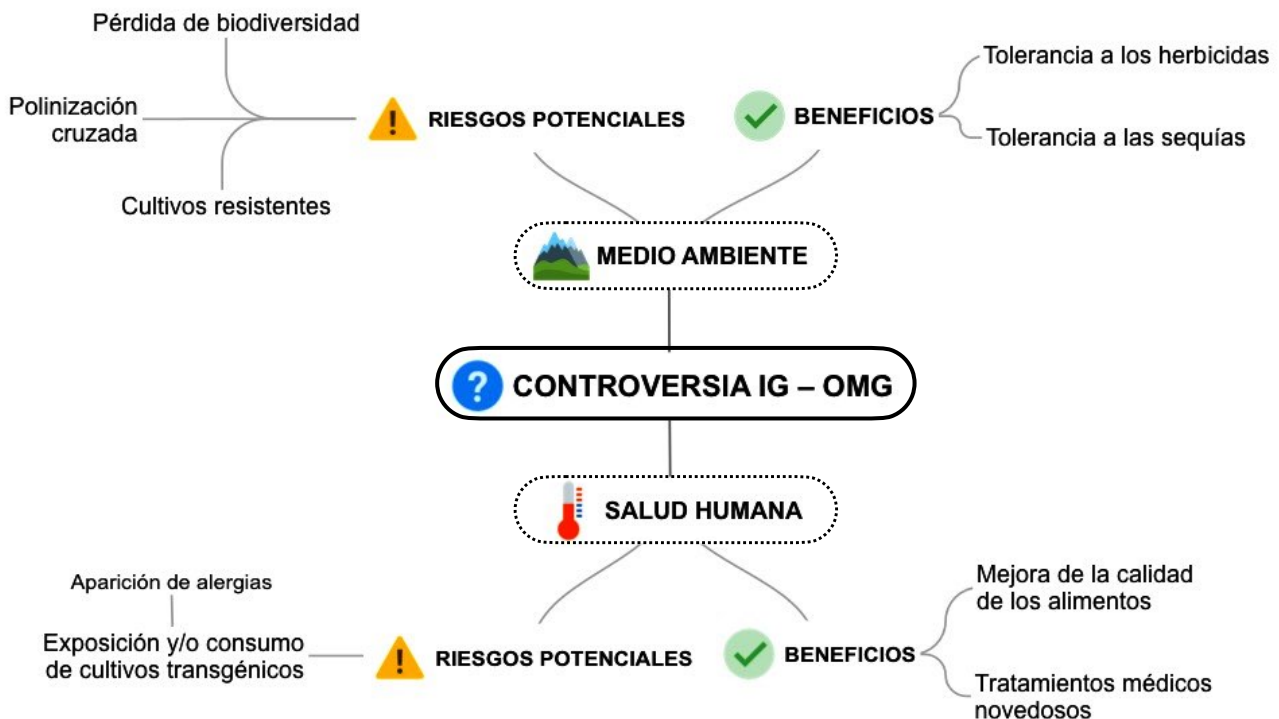
Como ejemplo de ello aparece el caso del primer OMG aprobado para uso alimentario en Europa (la levadura modificada genéticamente fabricada por *British Fermentation Products*) (Charles, 1990). En aquella época, así como en la actual, los OMG representaban la esperanza ante un futuro incierto, en donde la necesidad de alimentos aumenta paralelamente al crecimiento de la población mundial (hecho agravado en países desarrollados). Como se verá más adelante, esta necesidad afecta de manera muy directa a sectores como el de la acuicultura y la pesca (Bartley y Hallerman, 1995).



**Figura 1.** Empleo de Organismos Modificados Genéticamente para la mejora de productos alimenticios, cuidado del medio ambiente e investigación. Fuente: Elaboración propia.

## 1.2. Preocupaciones éticas: salud humana y medio ambiente

A colación de lo descrito anteriormente, la ingeniería genética proporciona un nuevo abanico de posibilidades. A pesar de ello, su aplicación se encuentra vinculada (intrínsecamente) a una serie de riesgos potenciales, algunos de los cuales se observan en la **Figura 2**.



**Figura 2.** Ingeniería genética, medio ambiente y salud humana: riesgos potenciales y beneficios. *Nota:* IG = Ingeniería Genética; OMG = Organismo Modificado Genéticamente. Información obtenida de Gatew y Mengistu (2019). Fuente: Elaboración propia.

Generalmente, dichos riesgos se asocian a características específicas de los OMG en lugar de al organismo modificado como tal. Además, en muchas ocasiones se considera que todas las variedades transgénicas tienen la capacidad de provocar el mismo tipo de efectos tras su empleo y/o consumo (MacDonald *et al.*, 2019). Cabe destacar que ambas afirmaciones son incorrectas, encontrándose en muchas ocasiones motivadas por la propia subjetividad del consumidor (Acquier y Rehn, 2019). Así pues, es necesario realizar un análisis riesgo-beneficio en relación con su contribución a la sostenibilidad, al beneficio social y a la ética (criterios reconocidos en la Directiva de la UE 2015/412 (Unión Europea, 2015; Macnaghten y Habys, 2020)); de esta manera aumenta la probabilidad de que la evaluación de los riesgos sea equilibrada. Por otra parte, se debe tener en cuenta que las

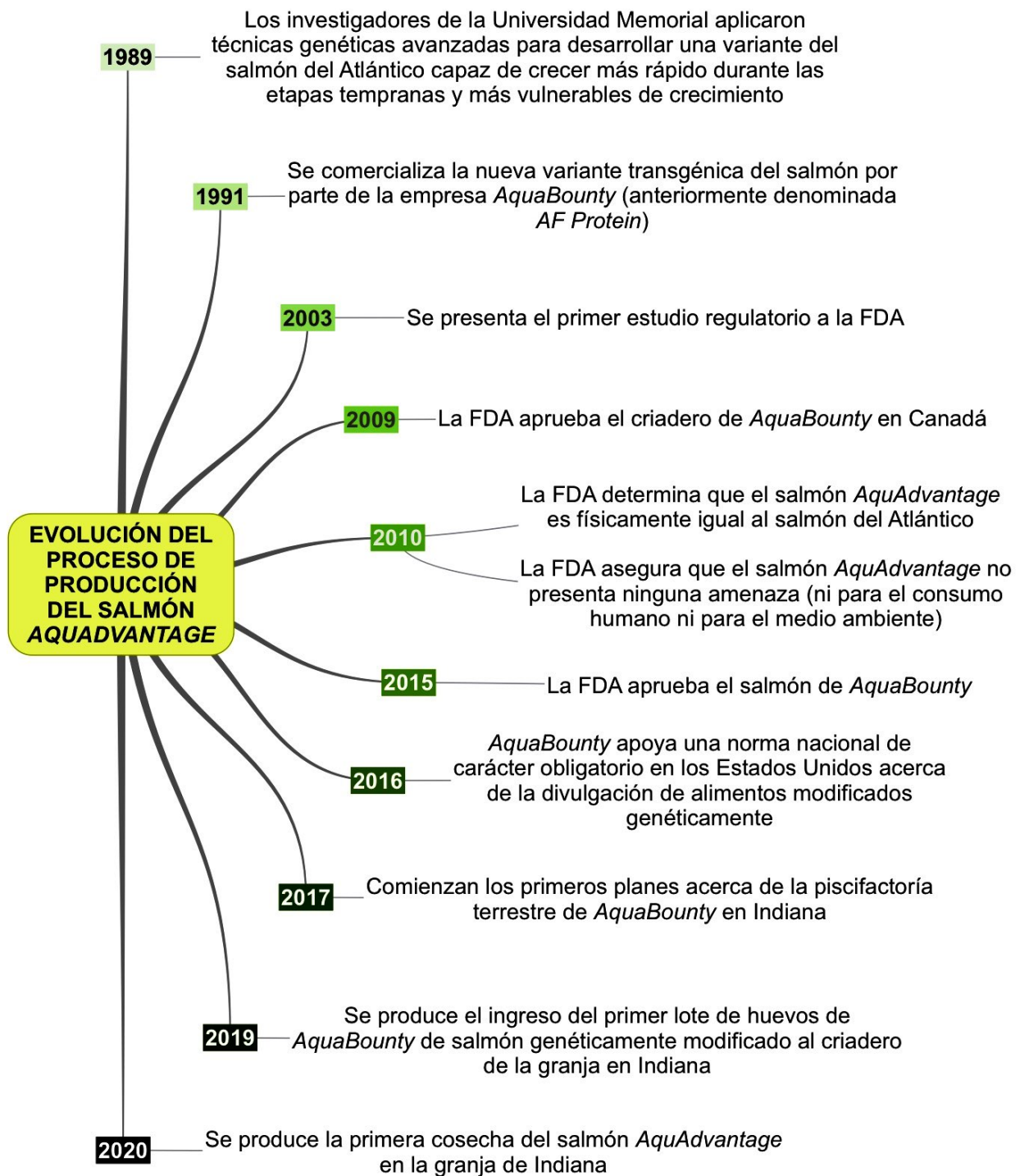
consideraciones sociales y éticas sobrepasan el dominio puramente científico (Callegari y Mikhailova, 2021), por lo que la valoración de las mismas es limitada. La realidad es que la ética ejerce un papel fundamental en la gestión y regulación del empleo de este tipo de organismos. Es decir, razona y analiza cuestiones científicas en un contexto más amplio (Pierce, 2015).

Dicho de otro modo; el fin último –tanto de las pautas éticas como de las legales– es tratar de considerar a los OMG dentro de la perspectiva de cada país, así como de tomar conciencia acerca de los aspectos que influyen en el desarrollo tecnológico y, por ende, de la aplicación de dichas tecnologías en la producción de OMG (Bartley y Hallerman, 1995).

### **1.3. El caso del salmón transgénico: *AquaBounty Technologies***

Desde hace más de veinte años y debido a causas mayoritariamente antropogénicas, la situación poblacional del salmón silvestre del Atlántico (*Salmo salar* L.) se encuentra en continuo declive. El resultado de prácticas como la deforestación y el desarrollo de infraestructuras urbanas han originado devastaciones ecológicas en los lechos de arroyos y ríos, por lo que el hábitat de estas poblaciones ha sufrido (y sufre) continuas modificaciones (Pierce, 2015). De hecho, es tanto el daño que dichas infraestructuras pueden causar en el medio ambiente que el salmón del Atlántico (así como otros peces) se ha visto obligado a modificar sus rutas migratorias (Haraldstad *et al.*, 2021). Por otra parte, las condiciones climáticas actuales derivadas del cambio climático alteran las condiciones oceanográficas. Esto, de igual manera, es un motivo por el cual la población del salmón del Atlántico cambia su ruta migratoria; es decir, la dinámica poblacional de los mismos se ve modificada (Rikardsen *et al.*, 2021). Esta situación, de nuevo, implica un descenso en el número de individuos salvajes. Es por ello por lo que dicho escenario generó la necesidad de formas alternativas de producción de salmón, surgiendo de esta manera el salmón *AquAdvantage*, modificado genéticamente y desarrollado por *AquaBounty Technologies* en el año 1989. A pesar de ello, la revisión regulatoria por parte de la *U.S. Food and Drug Administration* (en adelante FDA) no comenzó hasta el año 2003 (Nimmo y Beech, 2015). Como se puede observar en el esquema de la **Figura 3**, el proceso de producción del salmón *AquAdvantage* ha sido continuo y complejo, consiguiendo finalmente ser aceptado por la FDA en el año 2015 (*AquaBounty Technologies*, 2022). Asimismo, dicho organismo transgénico es el resultado de la combinación de segmentos de genes del salmón del Pacífico (el gen de la hormona de

crecimiento de Chinook) y de la faneca oceánica (por sus "elementos reguladores de la transcripción") (Pierce, 2015).



**Figura 3.** Eje cronológico del proceso de producción del salmón *AquAdvantage*. Fuente: Elaboración propia; información obtenida a partir de la página web oficial de *AquaBounty Technologies* (sección *About us*) (*AquaBounty Technologies*, 2022).

El empleo de la ingeniería genética para la creación del salmón *AquAdvantage* permitió, no solo acelerar la tasa de crecimiento del mismo (en un tiempo la mitad de reducido), sino también conseguir un mayor tamaño corporal en comparación con el del salmón salvaje del Atlántico (como se puede apreciar en la **Figura 4**) (Nidhi *et al.*, 2021). Por otra parte, dicho aumento en la tasa de crecimiento posibilitó una mayor producción de salmón, por lo que (teniendo en cuenta que la población humana no para de crecer), resulta un aspecto enormemente ventajoso; tanto para el consumo humano como para la industria alimentaria como tal.



**Figura 4.** Comparación entre un ejemplar de salmón transgénico *AquAdvantage* y su individuo hermano, no transgénico, durante la fase de crecimiento. *Nota:* Ambos salmones son de la misma edad (18 meses). Fuente: Imagen modificada de *AquaBounty*.

## **2. OBJETIVOS**

---

### **2.1. Objetivo principal**

Recopilar información acerca de los aspectos éticos del uso de los OMG con el fin de analizar el caso del salmón transgénico.

### **2.2. Objetivos secundarios**

- Organizar y presentar toda la información obtenida (dentro de los límites establecidos en el presente estudio) sobre los OMG.
- Examinar desde un punto de vista ético los efectos potenciales del uso de OMG en los ámbitos de la salud humana y seguridad medioambiental.
- Evaluar las condiciones por las que se ha visto motivada la producción del salmón transgénico.

### 3. METODOLOGÍA

---

La búsqueda bibliográfica efectuada consta de dos partes. La primera de ellas se ha basado en una serie de búsquedas sin criterios de exclusión e inclusión establecidos. La segunda, por el contrario, se ha realizado en base a unos criterios fuertemente determinados.

La finalidad de la primera ha sido contextualizar los temas abordados en el trabajo, asentando de esta manera los conceptos base necesarios para la comprensión global del presente estudio.

La segunda parte (conformada por un total de ocho búsquedas), más exigente, se ha ejecutado con fines conclusivos. Es decir, el objetivo de ésta última ha sido el de “filtrar” la información, reteniendo aquella de mayor interés y actualidad. El número de artículos recopilados, como se detalla en el **Anexo I**, ha sido de 19.

En las secciones de Metodología y Resultados se explica únicamente la segunda búsqueda

### 3.1. Tipo de Estudio

Se ha realizado una revisión bibliográfica cuya recopilación de información se ha desarrollado entre los meses de Noviembre y Diciembre del año 2021.

### 3.2. Criterios de exclusión e inclusión establecidos

#### 3.2.1. Criterios de exclusión

- Límite cronológico: Se ha limitado la búsqueda bibliográfica a documentos publicados desde el año 2015 hasta el año 2021 (ambos incluidos).
- Límite lingüístico: Se han tenido en cuenta documentos científicos escritos únicamente en inglés, español y portugués.

#### 3.2.2. Criterios de inclusión

- Campos empleados en la búsqueda: título, palabras clave y resumen.
- Variables de efecto: Se han incluido estudios que relacionan los aspectos éticos con la ingeniería genética en los ámbitos de la salud humana y la seguridad medioambiental.
- Unidad de estudio: Se han incluido estudios de tipo artículo científico sobre el salmón transgénico y, de manera general, sobre los OMG.



### 3.3. Estrategia de búsqueda

Con el fin de recopilar la información actual existente sobre el tema a tratar, se ha realizado un total de ocho búsquedas bibliográficas en las bases de datos *Scopus*, *Web of Science*, *PubMed Central (NCBI)* y *ProQuest* (dos búsquedas en cada una de ellas); aplicando los criterios de inclusión y exclusión definidos anteriormente. Asimismo, se han establecido las siguientes palabras clave o *keywords* (de elevada carga semántica): Organismo Modificado Genéticamente, Ética, *Aquabounty Technologies* y Salmón transgénico. En la **Tabla 1** se recogen las palabras clave pertenecientes a cada búsqueda y base de datos.

**Tabla 1.** Palabras clave empleadas en cada una de las bases de datos consultadas. Fuente: elaboración propia.

Orden de búsqueda	BASE DE DATOS	CAJA DE BÚSQUEDA
1°	<i>Scopus</i>	<p><b>Primera búsqueda:</b> Genetically AND (Modified OR Transgenic) AND Organism AND ethics</p> <p><b>Segunda búsqueda:</b> Transgenic AND Salmon AND Aquabounty</p>
2°	<i>Web of Science</i>	<p><b>Primera búsqueda:</b> Genetically AND Modified AND Salmon AND Aquabounty</p> <p><b>Segunda búsqueda:</b> Transgenic AND Salmon AND Aquabounty</p>
3°	<i>PubMed Central</i>	<p><b>Primera búsqueda:</b> Genetically AND Modified AND Aquabounty</p> <p><b>Segunda búsqueda:</b> Aquabounty AND Salmon</p>
4°	<i>ProQuest</i>	<p><b>Primera búsqueda:</b> Genetically AND Modified AND Transgenic AND Organism AND ethics</p> <p><b>Segunda búsqueda:</b> Aquabounty AND salmon AND ethics</p>

### 3.3.1. Bases de datos

En la **Tabla 2** se encuentran compilados algunos de los datos sobre las bases empleadas.

**Tabla 2.** *Bases de datos: Abreviaturas, páginas web y temáticas abordadas.* Nota: La información recogida en la presente tabla proviene de la sección “About us” de cada una de las páginas web detalladas. Fuente: Elaboración propia.

Bases de datos	Abreviatura	Link página web	Temáticas
<i>Scopus</i>	.....	<a href="https://www.scopus.com">https://www.scopus.com</a>	Multidisciplinar
<i>Web of Science</i>	WOS	<a href="https://www.webofscience.com">https://www.webofscience.com</a>	Multidisciplinar
<i>PubMed Central</i>	PMC (NCBI)	<a href="https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc">https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc</a>	Biomedicina; Ciencias de la Vida
<i>ProQuest</i>	.....	<a href="https://www.proquest.com">https://www.proquest.com</a>	Multidisciplinar

### 3.4. Gestión de la bibliografía

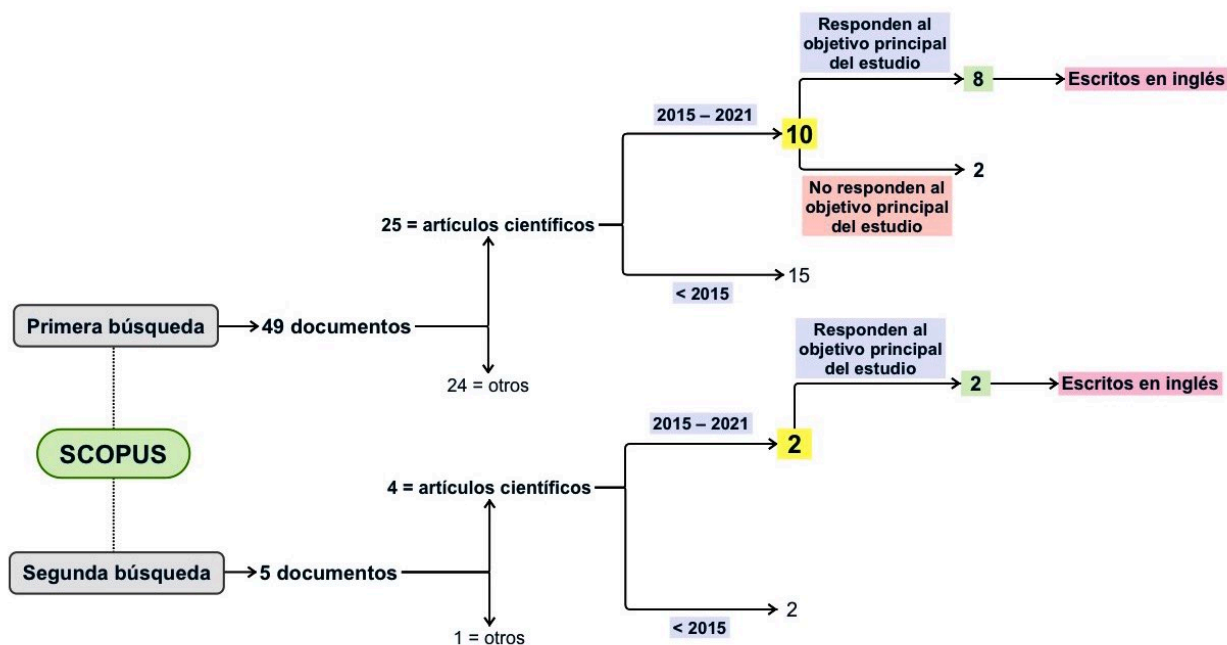
Tras la organización de los artículos científicos en base a los criterios de inclusión y exclusión, se ha gestionado la bibliografía recopilada. Este último paso se ha llevado a cabo mediante el administrador de referencias bibliográficas *RefWorks* (Ex Libris Group, 2020).

- Los artículos científicos obtenidos a partir de la base de datos *Web of Science* se han guardado (previa a su exportación en *RefWorks* (Ex Libris Group, 2020)) como archivos RIS. Este paso ha tenido lugar únicamente en dicha base de datos debido a que no se pudo realizar una exportación directa.
- A partir del gestor bibliográfico *RefWorks* (Ex Libris Group, 2020) se han eliminado los documentos duplicados y se ha organizado la bibliografía, siguiendo el estilo *American Psychological Association 7th edition* (en adelante APA).

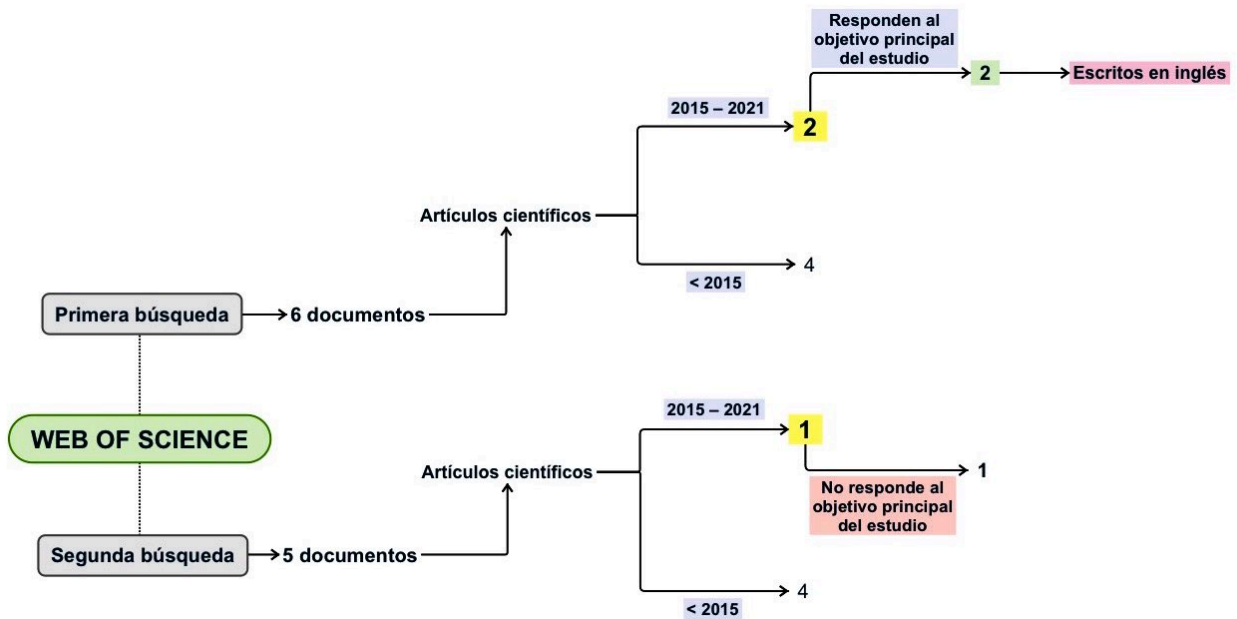
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados

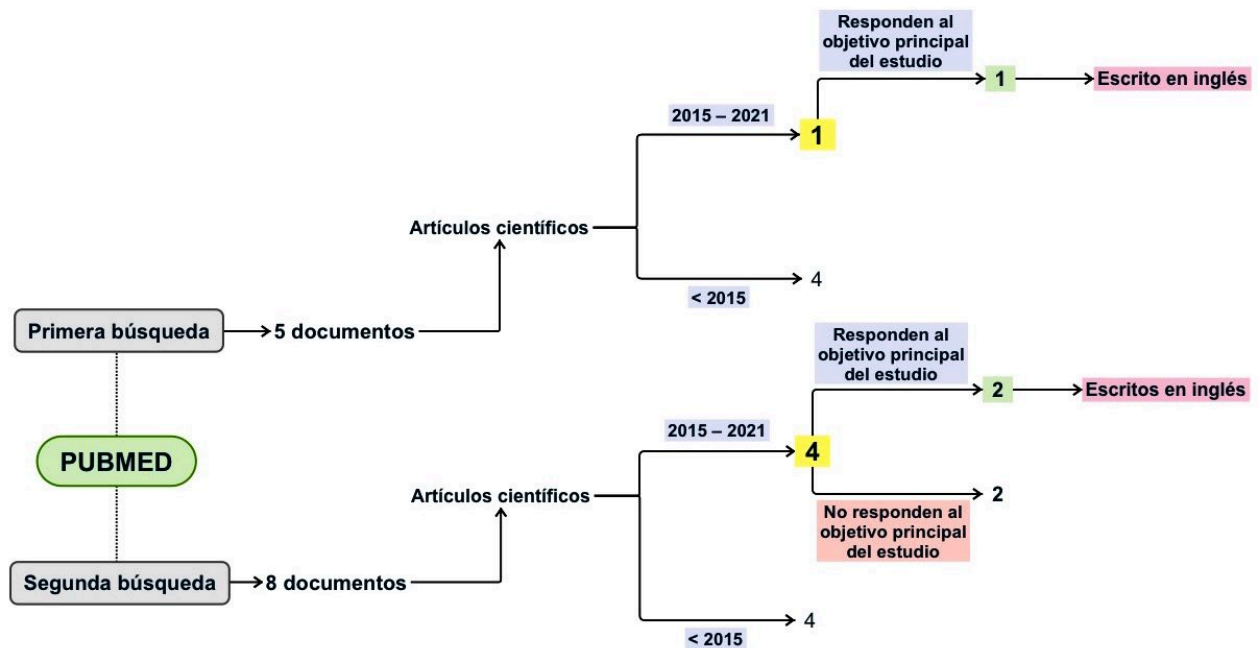
Inicialmente se realizó una sola búsqueda bibliográfica por base de datos. De esta manera se observó que el número de artículos obtenidos era muy bajo (9 en total), por lo que se plantearon dos nuevas posibilidades. La primera consistió en establecer un límite menos estricto en cuanto a la fecha de publicación. Esta opción fue desechada al instante por dos motivos: el fin de dicho límite era recopilar los artículos científicos más actuales y la cantidad de artículos en relación a la temática de estudio era muy elevada. La segunda posibilidad, la cual se llevó a cabo, fue la realización de dos búsquedas bibliográficas por base de datos. Con el fin de organizar la información obtenida, se han realizado una serie de esquemas y gráficas. Como se puede apreciar en las siguientes figuras (**Figura 5**; **Figura 6**; **Figura 7**; **Figura 8**), para la elección final de los documentos científicos se han tenido en cuenta los criterios de exclusión e inclusión establecidos con anterioridad en la metodología del trabajo.



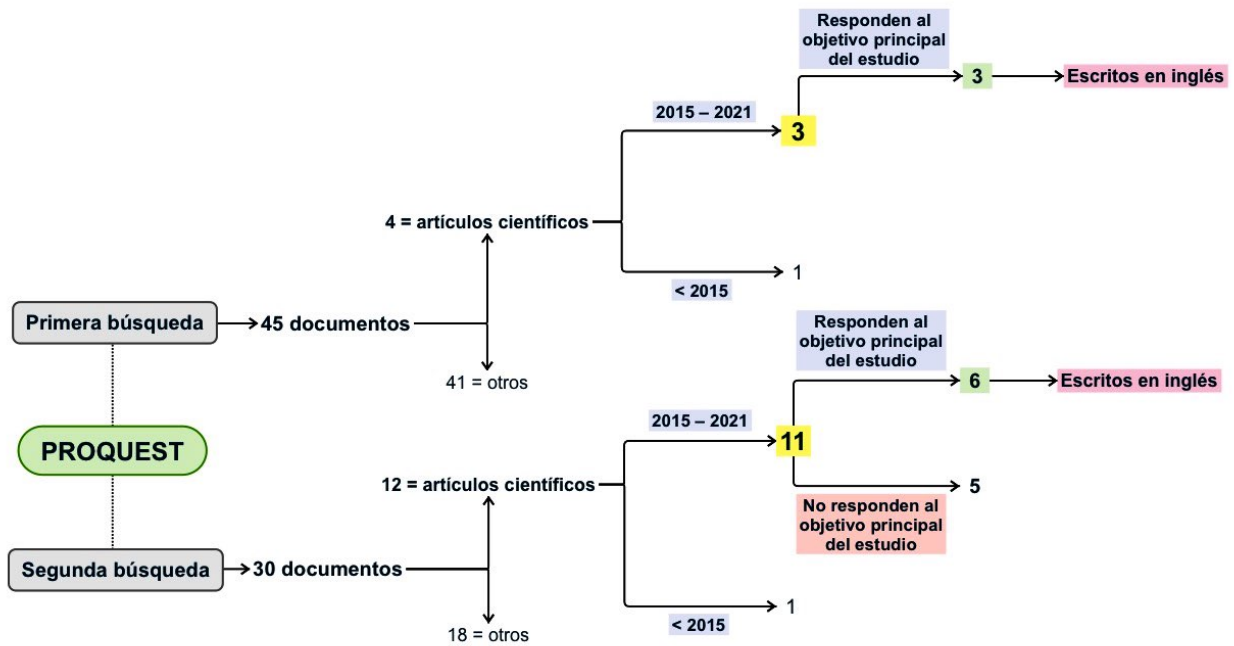
**Figura 5.** Scopus → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión. *Nota:* Para la realización del presente esquema se ha empleado el *Software SimpleMind* (ModelMaker Tools, 2021). Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Web of Science → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión. *Nota:* Para la realización del presente esquema se ha empleado el *Software SimpleMind* (ModelMaker Tools, 2021). Fuente: Elaboración propia.

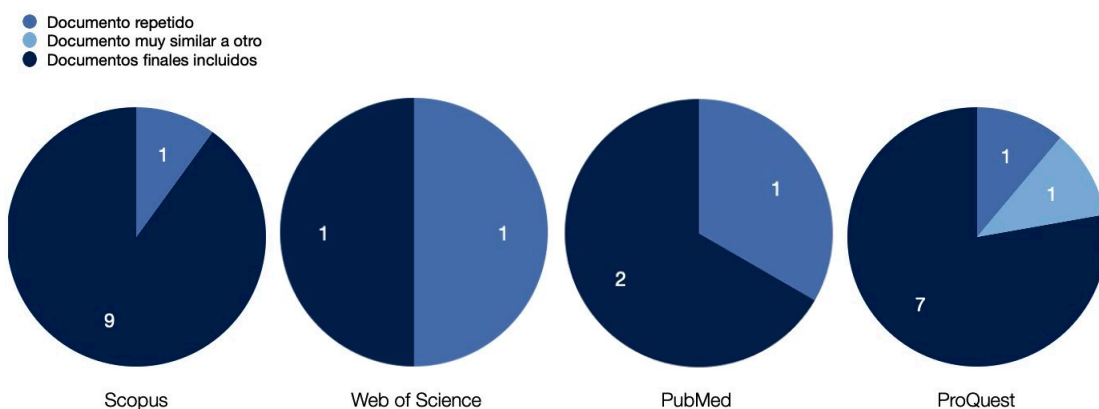


**Figura 7.** PubMed → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión. *Nota:* Para la realización del presente esquema se ha empleado el *Software SimpleMind* (ModelMaker Tools, 2021). Fuente: Elaboración propia.



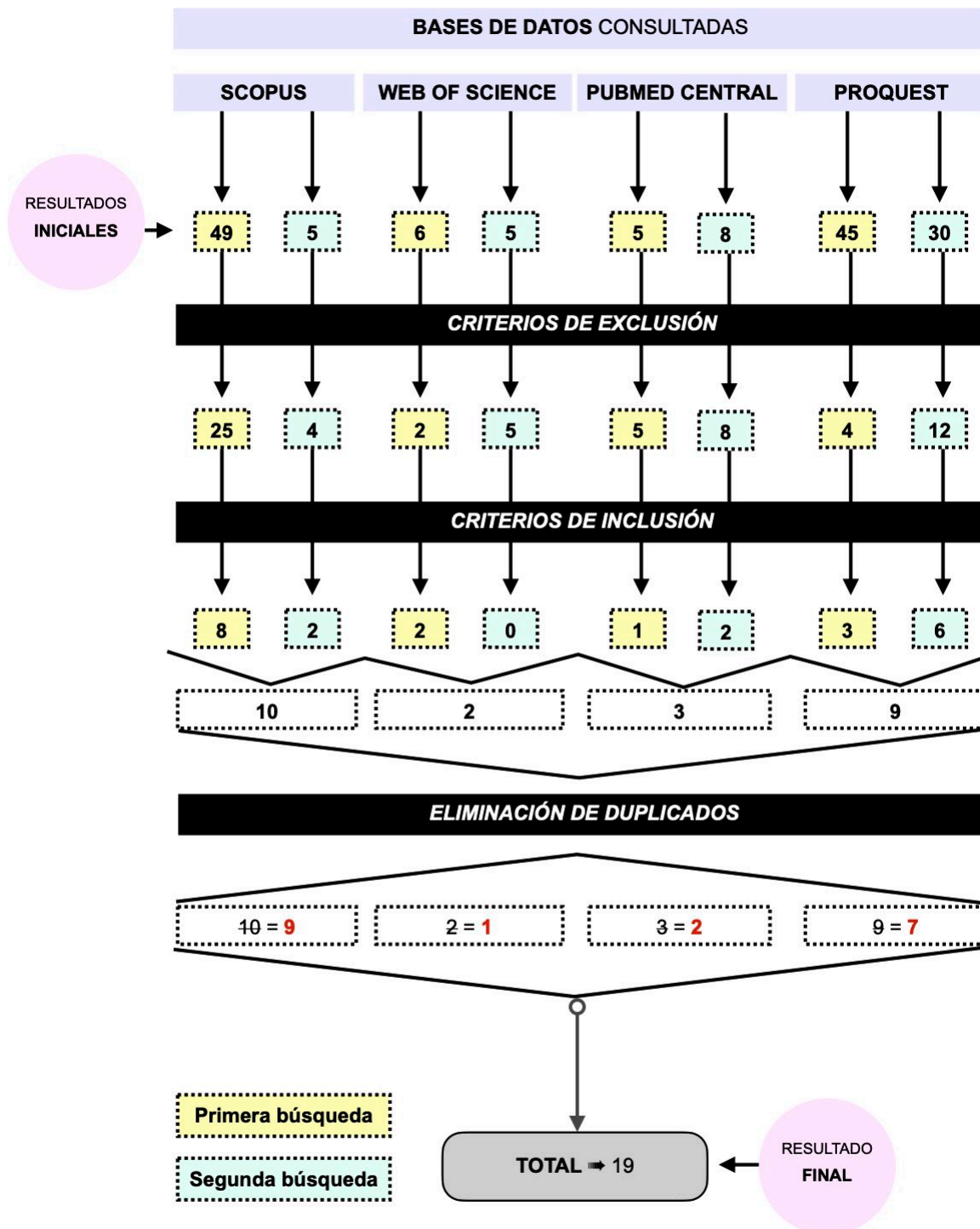
**Figura 8.** ProQuest → Protocolo de selección aplicado según los criterios de exclusión e inclusión. *Nota:* Para la realización del presente esquema se ha empleado el *Software SimpleMind* (ModelMaker Tools, 2021). Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se han eliminado aquellos documentos científicos duplicados con ayuda del gestor bibliográfico *RefWorks* (Ex Libris Group, 2020). Este paso aparece representado en las cuatro gráficas de la **Figura 9**.



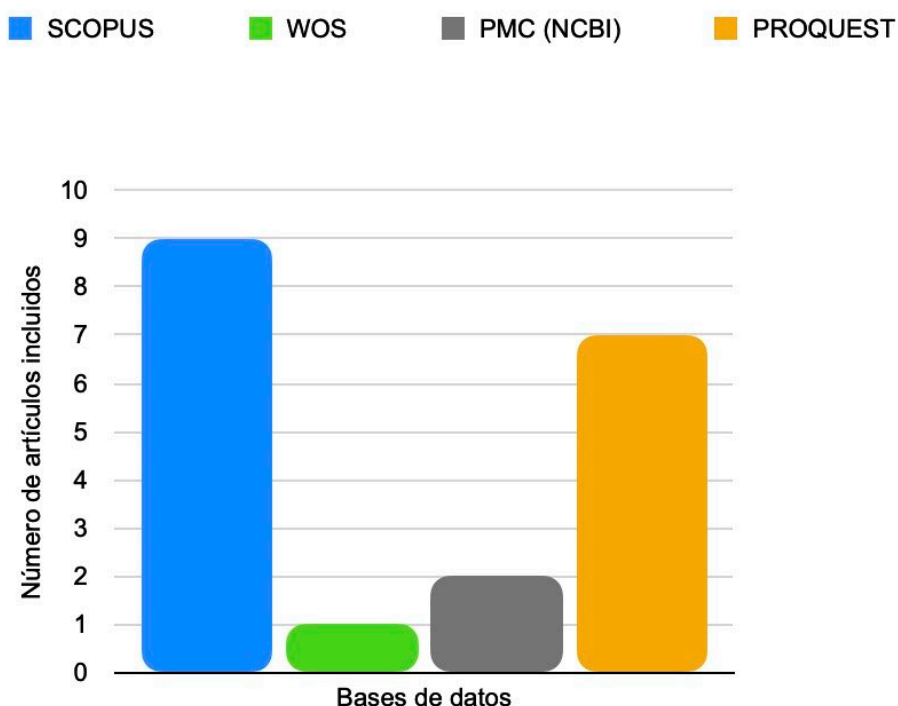
**Figura 9.** Eliminación de documentos duplicados → criterios empleados. *Nota:* Las gráficas se han elaborado con el *Software Numbers* (Apple Inc., 2021). Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, en el diagrama de flujo de la **Figura 10** se describe todo el proceso de selección de la información. Como se puede observar, el número de artículos científicos seleccionados ha sido de 19.



**Figura 10.** Diagrama de flujo → Proceso de selección de información. *Nota:* Para la realización del presente diagrama de flujo se ha empleado el *Software SimpleMind* (ModelMaker Tools, 2021). Fuente: Elaboración propia.

Por último, en la gráfica de la **Figura 11** se aprecia cómo la mayor parte de los artículos seleccionados han sido obtenidos a partir de la base de datos *Scopus*.



**Figura 11.** Número de artículos científicos incluidos según las cuatro bases de datos empleadas. *Nota:* La gráfica se ha elaborado con el *Software Numbers* (Apple Inc., 2021). Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Discusión

Tras lo expuesto, uno puede llegar a la determinación de que la necesidad del empleo de la ingeniería genética en el proceso de creación de un OMG conlleva una serie de riesgos potenciales. Es decir, la ingeniería genética no solo causa expectación e incluso rechazo en cuanto a los posibles impactos de su *praxis*, sino también debido a la fuente del material genético empleado (Gatew y Mengistu, 2019). Es por ello que, desde su origen, la producción de OMG ha generado cierta controversia (Jouve de la Barreda, 2020).

Como se ha comentado a lo largo del presente trabajo, la ética cumple un papel fundamental en el control y análisis de los OMG. A pesar de ello, en muchas ocasiones resulta elevadamente complejo enmarcar las cuestiones éticas adecuadas. Una de las soluciones ante este problema es estructurar dichas cuestiones en términos de derechos

y deberes (como por ejemplo; el derecho de acceso a la información y el deber de respeto) (MacDonald *et al.*, 2019). Otra solución podría ser el desarrollo de hábitos éticos en el plano educativo, incorporando de esta manera una base ética para una mejor comprensión futura de la ciencia en general y de los OMG en particular. Por otra parte, la existencia de un marco legislativo que regule el uso de OMG teniendo en cuenta la ética es enormemente eficaz. Un ejemplo de ello es la Directiva 2001/18 (Unión Europea, 2001), la cual establece como objetivo principal la protección de la salud humana y el medio ambiente (Tagliabue, 2018).

De igual manera, la opinión pública ejerce un peso elevado en cuanto a la toma de decisiones acerca de los OMG. Gran parte de la sociedad cree que los científicos que llevan a cabo técnicas de ingeniería genética juegan a ser Dios (Nidhi *et al.*, 2021). Esto a su vez genera un temor (inherente al ser humano) acerca de las posibles consecuencias en la salud humana y el medio ambiente.

En cuanto a los miedos asociados a la salud humana, a día de hoy se desconoce si realmente existen efectos adversos debido al consumo de OMG (Idris *et al.*, 2020). Además, existe una opinión común entre los científicos que defiende la inocuidad de los alimentos transgénicos por sí mismos (MacDonald *et al.*, 2019). A pesar de ello, la exposición y/o consumo de este tipo de productos puede suponer un riesgo para la salud; de hecho, se ha comprobado que el contacto directo con agroquímicos puede tener diversos efectos adversos, tales como abortos espontáneos o incluso defectos congénitos de nacimiento (Abushal *et al.*, 2021).

En cuanto a los temores asociados al medio ambiente, los OMG son organismos vivos, por lo que tienen la capacidad de dispersarse. Es por ello por lo que los cultivos transgénicos están en el punto de mira, ya que una vez son liberados al medio, es imposible controlar los efectos derivados de su uso. Es decir, no se conoce ni la capacidad de dispersión del transgén ni los impactos derivados de la transgénesis (inserción de un gen exógeno). De esta manera, tanto el sector agrícola como la biodiversidad (en un plano general) puede verse dañada por la aparición de nuevas semillas o incluso por la transferencia horizontal de genes desconocidos (Robaey, 2016).

Sintetizando lo ya comentado, los organismos modificados llevan asociados tanto riesgos como beneficios. Es por ello por lo que se puede afirmar que existe un claro pensamiento dicotómico en cuanto al uso de OMG, en donde ciertas personas defienden su empleo



mientras que otras lo rechazan. La realidad es que mientras perduren este tipo de preocupaciones éticas y de salud (tanto humana como ambiental), va a existir una fuerte oposición en lo que respecta a esta clase de organismos. Esto provoca que los productos transgénicos sean considerados como “peores” y que a su vez no se consiga avanzar a nivel biotecnológico en la investigación de los OMG debido a las negativas recibidas por el público general. En realidad se ha podido demostrar que lo ideal para mitigar este tipo de ideas preconcebidas es abordar las preocupaciones sociales y éticas durante las primeras fases de innovación (Callegari y Mikhailova, 2021).

Es a causa de la presente situación acerca de los OMG por lo que se explica el caso del salmón transgénico, ya que (de igual manera) se caracteriza por haber sido juzgado, tanto por su calidad como por sus posibles efectos adversos sobre la salud humana y ambiental. Es decir, como todo OMG, ha suscitado dudas y miedos en el público desde su creación hasta el día de hoy. Uno de los mayores riesgos ecológicos existentes es la posibilidad de cruzamiento entre el salmón genéticamente modificado y el no transgénico (natural). De hecho, se prevé que si esto ocurre, el peligro ambiental resultante sería muy significativo (Callegari y Mikhailova, 2021). La realidad de esta situación es que, a pesar de los avances tecnológicos desarrollados, los escapes de salmones transgénicos son inevitables (especialmente tras eventos de tormenta). Es aquí en donde, asumiendo la viabilidad de introgresión genética, se ha propuesto la posibilidad de esterilización del salmón de piscifactoría. Esto mitigaría los efectos de la introgresión; además, se ha demostrado que los peces (en general) crecen a una mayor velocidad cuando no son sexualmente maduros. Asimismo, al carecer de madurez sexual, el bienestar del organismo aumentaría, ya que se evitarían las peleas producidas en los machos en épocas de apareamiento (Dankel, 2018).

Una segunda opción, propuesta por *AquaBounty*, es la de llevar a cabo la cría de hembras exclusivamente triploides (Callegari y Mikhailova, 2021). Esto no solo posibilitaría una mayor tasa de crecimiento del salmón (Ignatz *et al.*, 2020), sino que también impediría la hibridación entre el salmón salvaje y el salmón modificado. A pesar de ello, dicha técnica no garantiza un 100 por ciento de esterilidad, por lo que (a pesar de su eficacia del 99 por ciento), no es un método factible (Callegari y Mikhailova, 2021).

Por otra parte, y debido a la acuicultura, se han producido efectos devastadores en los alevines de salmón silvestre a causa de las explosiones de piojos de mar en zonas migratorias del salmón (Pierce, 2015). La peligrosidad se encuentra en el hecho de que el

piojo del salmón (*Lepeophtheirus salmonis*) es un parásito que ejerce efectos inmunomoduladores y fisiológicos (Braden *et al.*, 2020).

Es decir, se repite la dicotomía comentada anteriormente. Por un lado el salmón transgénico se presenta como una idea innovadora (e incluso necesaria) en el sector alimentario, mientras que por otro acarrea una serie de riesgos ecológicos potenciales. Es por ello por lo que la denominada FDA ejecutó una audiencia que tuvo lugar en septiembre de 2010 con el propósito de analizar dichos riesgos y determinar así la seguridad y eficacia del salmón *AquaAdvantage* (producido por la empresa *AquaBounty Technologies Inc.*) (Pierce, 2015). De igual manera, la FDA se centró en examinar la seguridad del consumo humano de salmón genéticamente modificado en términos de alérgenos peligrosos. Finalmente, se llegó a la conclusión de que la probabilidad de que los salmones escaparan de las piscifactorías donde se alojaban era mínima y que, en caso de ocurrir, sería poco probable que sobrevivieran (Callegari y Mikhailova, 2021). Por otra parte, la FDA no consideró que el salmón *AquaAdvantage* presentara diferencias respecto al salmón salvaje, por lo que en Estados Unidos (EE.UU.) no se requiere un etiquetado particular del OMG. Mientras tanto, la situación es muy diferente en la Unión Europea, ya que (hasta el momento) este salmón está completamente prohibido (Debode *et al.*, 2018).

En realidad el caso del salmón transgénico *AquaAdvantage* es único, ya que es el primer organismo genéticamente modificado aprobado para el consumo por los EE.UU. en 2015 y por Canadá en 2016 (Nidhi *et al.*, 2021). A pesar de ello, en 2015 la FDA limitó su cultivo en Canadá y Panamá, reduciendo el riesgo de escape a la naturaleza (Debode *et al.*, 2018).

## 5. CONCLUSIONES / CONCLUSIÓNS / CONCLUSIONS

---

### CONCLUSIONES

La revisión bibliográfica realizada sobre los aspectos éticos del uso de los OMG ha permitido extraer las siguientes conclusiones acerca del caso del salmón transgénico:

1. Existe una gran cantidad de información relacionada con los OMG, así como de la aplicación de la ingeniería genética; los primeros estudios de modificación genética se remontan a la década de los 70, aunque no es hasta la década de los 90 cuando comienza a regularse el uso de los OMG.
2. Los riesgos potenciales asociados a los OMG acerca de la salud humana y ambiental son variados y numerosos, pero los factores que determinan en mayor medida la aprobación de los mismos son la ética y la opinión pública. Asimismo, existe una clara dualidad en cuanto al uso de OMG. Es decir, ciertas personas lo defienden mientras que otras lo atacan (e incluso repelen).
3. La necesidad de la creación del salmón transgénico es ventajosa a la hora de paliar el declive poblacional del salmón silvestre del Atlántico, así como la creciente necesidad de alimento por parte de la población humana (en aumento); por otra parte, el salmón transgénico implica riesgos ecológicos importantes (derivados de la hibridación entre el individuo transgénico y el salvaje). Es decir, se puede afirmar que existe una destacada dicotomía. Es por ello por lo que el salmón transgénico es un claro ejemplo de la situación actual que sufren los OMG en general.

## CONCLUSIÓNS

A revisión bibliográfica realizada sobre os aspectos éticos do uso dos OMX permitiu extraer as seguintes conclusións sobre o caso do salmón transxénico:

1. Existe unha grande cantidade de información relacionada cos OMX, así como da aplicación da enxeñaría xenética; os primeiros estudos remóntanse á década dos 70, aínda que non é ata a década dos 90 cando comeza a regularse o uso dos OMX.
2. Os riscos potenciais asociados aos OMX para a saúde humana e ambiental son variados e numerosos, pero os factores que determinan en maior medida a súa aprobación son a ética e a opinión pública. Así mesmo, existe unha clara dualidade en canto ao uso de OMX. É dicir, certas persoas deféndeno mentres outras o atacan (e mesmo repelen).
3. A necesidade da creación de salmón transxénico é vantaxosa á hora de paliar o descenso poboacional do salmón silvestre do Atlántico, así como a crecente necesidade de alimento por parte da poboación humana (en aumento); por outra banda, o salmón transxénico implica importantes riscos ecolóxicos (derivados da hibridación entre o individuo transxénico e o salvaxe). É dicir, pódese afirmar que existe unha evidente dicotomía. Por iso o salmón transxénico é un claro exemplo da situación actual que sofren os OMX en xeral.

## CONCLUSIONS

The bibliographical review carried out on the ethical aspects of the use of GMOs has allowed the following conclusions to be drawn about the case of transgenic salmon:

1. There is a wealth of information related to GMOs, as well as the application of genetic engineering; the first studies on genetic modification date back to the 1970s, although it was not until the 1990s that the use of GMOs began to be regulated.
2. The potential risks associated with GMOs on human and environmental health are varied and numerous, but it is ethics and public opinion that determine to a large extent the approval of GMOs. There is also a clear duality in the use of GMOs. That is to say, some people defend it while others attack (and even repel) it.
3. The need for the creation of transgenic salmon is advantageous when it comes to alleviating the population decline of wild Atlantic salmon, as well as the growing need for food by the (increasing) human population; on the other hand, transgenic salmon entails significant ecological risks (derived from hybridization between the transgenic and wild individual). In other words, it can be said that there is a striking dichotomy. This is why GM salmon is a clear example of the current situation of GMOs in general.

#### 4. BIBLIOGRAFÍA

---

Abushal, L. T., Salama, M., Essa, M. M., y Qoronfleh, M. W. (2021). Agricultural biotechnology: Revealing insights about ethical concerns. *Journal of Biosciences*, 46(3), 81. <https://doi.org/10.1007/s12038-021-00203-0>

Acquier, A., y Rehn, A. (2019). Okja (2017). *M@n@gement*, 22(3), 517–536. <https://management-aims.com/index.php/mgmt/article/view/3772/9453>

American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association: The official guide to APA Style (7th ed.)*.

Apple Inc. (2021). *Numbers* (Versión 11.1). MacOS. <https://www.apple.com/es/numbers/>

AquaBounty Technologies. (2022). *The discovery that started it all*. AquaBounty. <https://aquabounty.com/about-us>

Barros, C. (2009). *Productos modificados genéticamente o elaborados con organismos y/o microorganismos modificados genéticamente (OMG)*. Visión Libros.

Bartley, D. M., y Hallerman, E. M. (1995). A global perspective on the utilization of genetically modified organisms in aquaculture and fisheries. *Aquaculture*, 137(1), 1–7. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01095-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01095-5)

Braden, L. M., Monaghan, S. J., y Fast, M. D. (2020). Salmon immunological defence and interplay with the modulatory capabilities of its ectoparasite *Lepeophtheirus salmonis*. *Parasite Immunology*, 42(8), e12731. <https://doi.org/10.1111/pim.12731>

Callegari, B. y Mikhailova, O. (2021). RRI and corporate stakeholder engagement: The aquadvantage salmon case. *Sustainability*, 13(4), 1820. <https://doi.org/10.3390/su13041820>

Champion, K. M., y Jones, G. R. (2015). Planning an academic clinical trial. En W. Walther y U. Stein (Eds.), *Gene therapy of solid cancers: Methods and protocols*, (pp. 287–313). Humana Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2727-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2727-2_16)

Charles, B. (1990). Bright future for biotech. *Chemical Engineer*, 475, 16. <https://doi.org/0302-0797>

Dankel, D. J. (2018). "Doing CRISPR": The novel case of Atlantic salmon, science and industry. *Politics and the Life Sciences*, 37(2), 220–235. <https://doi.org/10.1017/pls.2018.14>

Debode, F., Janssen, E., Marien, A., Devlin, R. H., Lieske, K., Mankertz, J., y Berben, G. (2018). Detection of transgenic Atlantic and coho salmon by real-time PCR. *Food Analytical Methods*, 11(9), 2396–2406. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1214-1>

Ex Libris Group (2020). *RefWorks Citation Manager* (Versión 10.7). MacOS. <https://knowledge.exlibrisgroup.com/>

Gatew, H., y Mengistu, K. (2019). Genetically modified foods (GMOs); A review of genetic engineering. *Food Analytical Methods*, 9(6), 157–163. <https://doi.org/10.36380/SCIL.2019.JLSB25>

González Caballero, M. (2008). *Alimentos transgénicos: Organismos modificados genéticamente*. Formación Alcalá.

Haraldstad, T., Haugen, T. O., Olsen, E. M., Forsyh, T., y Höglund, E. (2021). Hydropower-induced selection of behavioural traits in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Scientific Reports*, 11, 16444. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95952-1>

Idris, S. H., Majeed, A. B. A., y Chang, L. W. (2020). Beyond halal: Maqasid al Shari'ah to assess bioethical issues arising from genetically modified crops. *Science and Engineering Ethics*, 26(3), 1463–1476. <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00177-6>

Ignatz, E. H., Braden, L. M., Benfey, T. J., Caballero-Solares, A., Hori, T. S., Runighan, C. D., Fast, M. D., Westcott, J. D., y Rise, M. L. (2020). Impact of rearing temperature on

the innate antiviral immune response of growth hormone transgenic female triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fish & Shellfish Immunology*, 97, 656–668. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.081>

Jouve de la Barreda, N. (2020). De la transgénesis a la edición génica: Aplicaciones y consideraciones bioéticas. *Cuadernos de Bioética*, 31(103), 387–401. <https://doi.org/10.30444/CB.78>

MacDonald, C., Colombo, S., y Arts, M. T. (2019). Genetically engineered oil seed crops and novel terrestrial nutrients: Ethical considerations. *Science and Engineering Ethics*, 25(5), 1485–1497. <https://doi.org/10.1007/s11948-018-0074-9>

Macnaghten, P., y Habys, M. G. J. L. (2020). Breaking the impasse: Towards a forward-looking governance framework for gene editing with plants. *Plants, People, Planet*, 2(4), 353–365. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10107>

ModelMaker Tools (2021). *SimpleMind* (Versión 1.30.0). iOS. <https://simplemind.eu>

Nidhi, S., Anand, U., Oleksak, P., Tripathi, P., Lal, J. A., Thomas, G., Kuca, K., y Tripathi, V. (2021). Novel CRISPR–Cas systems: An updated review of the current achievements, applications, and future research perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3327. <https://doi.org/10.3390/ijms22073327>

Nimmo, D. D., y Beech, C. (2015). Genetically engineered mosquitoes in the US. *Outlooks on Pest Management*, 26(5), 207–210. [https://doi.org/10.1564/v26\\_oct\\_05](https://doi.org/10.1564/v26_oct_05)

Pierce, C. (2015). Learning about a fish from an ANT: Actor network theory and science education in the postgenomic era. *Cultural Studies of Science Education*, 10(1), 83–107. <https://doi.org/10.1007/s11422-013-9498-3>

Rikardsen, A. H., Righton, D., Strøm, J. F., Thorstad, E. B., Gargan, P., Sheehan, T., Økland, F., Chittenden, C. M., Hedger, R. D., Næsje, T. F., Renkawitz, M., Sturlaugsson, J., Caballero, P., Baktoft, H., Davidsen, J. G., Halttunen, E., Wright, S., Finstad, B., y Aarestrup, K. (2021). Redefining the oceanic distribution of Atlantic salmon. *Scientific Reports*, 11, 12266. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91137-y>



Robaey, Z. (2016). Gone with the wind: Conceiving of moral responsibility in the case of GMO contamination. *Science and Engineering Ethics*, 22(3), 889–906. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9744-z>

Tagliabue, G. (2018). Scientific mistakes from the agri-food biotech critics. *Life Sciences, Society and Policy*, 14, 25. <https://doi.org/10.1186/s40504-018-0089-7>

Unión Europea. (2001). Directiva 2001/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de marzo de 2001, sobre la liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente y por la que se deroga la Directiva 90/220/CEE del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea, 17-4-2001, L 106, 1–39. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2001/18/oj>

Unión Europea. (2015). Directiva (UE) 2015/412 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de marzo de 2015 , por la que se modifica la Directiva 2001/18/CE en lo que respecta a la posibilidad de que los Estados miembros restrinjan o prohíban el cultivo de organismos modificados genéticamente (OMG) en su territorio. Diario Oficial de la Unión Europea, 13-3-2015, L 68, 1–8. <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/412/oj>

Zhang, D., Hussain, A., Manghwar, H., Xie, K., Xie, S., Zhao, S., Larkin, R. M., Qing, P., Jin, S., y Ding, F. (2020). Genome editing with the CRISPR-Cas system: An art, ethics and global regulatory perspective. *Plant Biotechnology Journal*, 18(8), 1651–1669. <https://doi.org/10.1111/pbi.13383>

## 5. ANEXO

---

### ANEXO

#### Segunda búsqueda bibliográfica → Ordenación alfabética de los 19 artículos científicos seleccionados

##### Artículos científicos seleccionados (APA, 2020)

---

Abushal, L. T., Salama, M., Essa, M. M., y Qoronfleh, M. W. (2021). Agricultural biotechnology: Revealing insights about ethical concerns. *Journal of Biosciences*, 46(3), 81. <https://doi.org/10.1007/s12038-021-00203-0>

---

Acquier, A., y Rehn, A. (2019). Okja (2017). *M@n@gement*, 22(3), 517–536. <https://management-aims.com/index.php/mgmt/article/view/3772/9453>

---

Braden, L. M., Monaghan, S. J., y Fast, M. D. (2020). Salmon immunological defence and interplay with the modulatory capabilities of its ectoparasite *Lepeophtheirus salmonis*. *Parasite Immunology*, 42(8), e12731. <https://doi.org/10.1111/pim.12731>

---

Callegari, B. y Mikhailova, O. (2021). RRI and corporate stakeholder engagement: The aquadvantage salmon case. *Sustainability*, 13(4), 1820. <https://doi.org/10.3390/su13041820>

---

Champion, K. M., y Jones, G. R. (2015). Planning an academic clinical trial. En W. Walther y U. Stein (Eds.), *Gene therapy of solid cancers: Methods and protocols*, (pp. 287–313). Humana Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2727-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2727-2_16)

---

Dankel, D. J. (2018). "Doing CRISPR": The novel case of Atlantic salmon, science and industry. *Politics and the Life Sciences*, 37(2), 220–235. <https://doi.org/10.1017/pls.2018.14>

---

Debode, F., Janssen, E., Marien, A., Devlin, R. H., Lieske, K., Mankertz, J., y Berben, G. (2018). Detection of transgenic Atlantic and coho salmon by real-time PCR. *Food Analytical Methods*, 11(9), 2396–2406. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1214-1>

---

Gatew, H., y Mengistu, K. (2019). Genetically modified foods (GMOs); A review of genetic engineering. *Food Analytical Methods*, 9(6), 157–163. <https://doi.org/10.36380/SCIL.2019.JLSB25>

---

## Artículos científicos seleccionados (APA, 2020)

Idris, S. H., Majeed, A. B. A., y Chang, L. W. (2020). Beyond halal: Maqasid al Shari'ah to assess bioethical issues arising from genetically modified crops. *Science and Engineering Ethics*, 26(3), 1463–1476. <https://doi.org/10.1007/s11948-020-00177-6>

Ignatz, E. H., Braden, L. M., Benfey, T. J., Caballero-Solares, A., Hori, T. S., Runighan, C. D., Fast, M. D., Westcott, J. D., y Rise, M. L. (2020). Impact of rearing temperature on the innate antiviral immune response of growth hormone transgenic female triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Fish & Shellfish Immunology*, 97, 656–668. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.12.081>

Jouve de la Barreda, N. (2020). De la transgénesis a la edición génica: Aplicaciones y consideraciones bioéticas. *Cuadernos de Bioética*, 31(103), 387–401. <https://doi.org/10.30444/CB.78>

MacDonald, C., Colombo, S., y Arts, M. T. (2019). Genetically engineered oil seed crops and novel terrestrial nutrients: Ethical considerations. *Science and Engineering Ethics*, 25(5), 1485–1497. <https://doi.org/10.1007/s11948-018-0074-9>

Macnaghten, P., y Habys, M. G. J. L. (2020). Breaking the impasse: Towards a forward-looking governance framework for gene editing with plants. *Plants, People, Planet*, 2(4), 353–365. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10107>

Nidhi, S., Anand, U., Oleksak, P., Tripathi, P., Lal, J. A., Thomas, G., Kuca, K., y Tripathi, V. (2021). Novel CRISPR–Cas systems: An updated review of the current achievements, applications, and future research perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(7), 3327. <https://doi.org/10.3390/ijms22073327>

Nimmo, D. D., y Beech, C. (2015). Genetically engineered mosquitoes in the US. *Outlooks on Pest Management*, 26(5), 207–210. [https://doi.org/10.1564/v26\\_oct\\_05](https://doi.org/10.1564/v26_oct_05)

Pierce, C. (2015). Learning about a fish from an ANT: Actor network theory and science education in the postgenomic era. *Cultural Studies of Science Education*, 10(1), 83–107. <https://doi.org/10.1007/s11422-013-9498-3>

Robaey, Z. (2016). Gone with the wind: Conceiving of moral responsibility in the case of GMO contamination. *Science and Engineering Ethics*, 22(3), 889–906. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9744-z>

**Artículos científicos seleccionados (APA, 2020)**

---

Tagliabue, G. (2018). Scientific mistakes from the agri-food biotech critics. *Life Sciences, Society and Policy*, 14, 25. <https://doi.org/10.1186/s40504-018-0089-7>

---

Zhang, D., Hussain, A., Manghwar, H., Xie, K., Xie, S., Zhao, S., Larkin, R. M., Qing, P., Jin, S., y Ding, F. (2020). Genome editing with the CRISPR-Cas system: An art, ethics and global regulatory perspective. *Plant Biotechnology Journal*, 18(8), 1651–1669. <https://doi.org/10.1111/pbi.13383>

---