

Genética ganadera

El sector de genética industrial/cría de ganado se enfoca en material de reproducción (por ejemplo, animales vivos, semen, embriones) y tecnologías reproductivas para la producción industrial. Las especies dominantes incluyen pollos, pavos, cerdos, ganado y pescados y mariscos cultivados de valor comercial (salmón, tilapia, trucha y camarones). La industria selecciona rasgos genéticos para maximizar crecimiento rápido y altos rendimientos, así como procesamiento y transporte de productos uniformes de proteína animal a gran escala. Las razas industriales no pueden sobrevivir sin alimentos ricos en proteínas, medicamentos costosos y alojamiento con clima controlado.

Tendencias:

- **Concentración cada vez mayor en genética ganadera; los criadores de especies múltiples y las empresas de capital privado acuden en masa a la acuicultura y la genética de peces.**
- **La enorme participación de China en la producción/consumo/genética ganadera.**
- **Amplias aplicaciones de tecnologías digitales; investigación en genómica y edición de genes.**

A pesar del crecimiento explosivo en el consumo de proteína animal en todo el mundo y la enorme contribución de la ganadería industrial a las emisiones de gases de efecto invernadero, muy pocos están monitoreando el grado en que un puñado de empresas transnacionales suministran el ganado reproductor y las tecnologías reproductivas para una parte cada vez mayor de la producción mundial de carne industrial, leche, huevos y pescado/mariscos de cultivo.

Más pequeño y menos visible que cualquier otro sector de la cadena alimentaria industrial, el mercado mundial de genética ganadera alcanzará un valor estimado de 8 mil 900 millones de dólares para 2024.¹ Sin embargo, la inteligencia de mercado en este sector es notoriamente poco confiable porque muchos de los competidores más importantes son de propiedad privada, muy reservados y dependen de la genética patentada. La amenaza de enfermedades virulentas (por ejemplo, influenza aviar altamente patógena, peste porcina africana) también requiere de estrictas medidas de bioseguridad que envuelven aún más en secreto a la industria de la genética ganadera.

A nivel mundial, la adopción generalizada de la genética ganadera industrial es el principal impulsor de la pérdida de la diversidad genética de los animales de granja. Con la introducción de animales reproductores industriales, los animales autóctonos están sujetos a una rápida sustitución o dilución genética.

Empresas líderes en genética ganadera, 2020

| Empresa/Sede | Propiedad y ventas en 2020 en MDD, cuando estén disponibles | Especies / Actividad / Filiales |
|--|--|---|
| CP Group (Tailandia) Charoen Pokphand Group Co., Ltd., es la principal accionista de Charoen Pokphand Foods (CP Foods) | La familia Chearavanont, propietaria de CP Group, se encuentra entre las familias más ricas del mundo. CP Foods reportó ventas de 18 mil 867 millones en 2020. ² | Una de las empresas agrícolas industriales más grandes del mundo, que incluye cría, producción y procesamiento de aves, cerdos y camarones. Opera en China, Vietnam, Taiwán, India, Turquía, Rusia, Camboya, Filipinas, Laos y Polonia. |
| Tyson Foods (EUA) | Cotiza en bolsa; 43 mil 185 millones (todos los segmentos); Tyson no informa sus ingresos por genética por separado; ingresos totales del segmento de pollo 13 mil 234 millones ³ | Gigante productor y empacador de carne integrado verticalmente. La subsidiaria de Cobb-Vantress es una criadora líder de pollos de engorde; capacidad de producción 47 millones de pollos por semana (2021). ⁴ |
| Mowi (Noruega) | Cotiza en bolsa; 4 mil 288 millones ⁵ | El mayor productor mundial de salmón del Atlántico (participación estimada en el mercado mundial del 20%). Mowi afirma “control interno total de nuestra propia genética”. ⁶ Presencia en 25 países y 12 mil empleados. |
| EW Group GmbH (Alemania) | Grupo de cartera privada de propiedad familiar con 277 empresas. EW Group genera un estimado de 3 mil 250 millones en ventas anuales (todas las empresas). ⁷ | La empresa de genética y cría de aves de corral más grande del mundo. Pollos de engorde/pavos: Aviagen y su subsidiaria, Hubbard . Ponedoras: Hy-Line International ; adquirió Novogen de Groupe Grimaud, 12/2021. Líder en genética acuícola, especialmente salmón, trucha, tilapia. AquaGen , cría de salmones y truchas de cultivo. Mayor criador de tilapia: GenoMar Genetics, Aquabel, AquaAmerica, AquaPorto, Vaxxinova . |
| Genus, PIC (Reino Unido) | Cotiza en bolsa, 708 millones ⁸ | Genética porcina y bovina; adquirió el 39% de participación en Xelect , empresa de genética acuícola; adquirió Sergal (genética del verraco). |
| Groupe Grimaud (Francia) | Privada | Aves de especialidad, razas de conejos. Choice (división porcina) presente en 37 países. Blue Genetics (selección genética de camarones). |
| Hendrix Genetics (Países Bajos) | Privada; 50% propiedad de la firma de capital privado Paine Schwartz, con inversión de Mitsui & Co. (Japón) | Pavos, ponedoras, aves tradicionales, cerdos, salmones, truchas y camarones. Las marcas incluyen: Hybrid, ISA, Dekalb, Bovans, Shaver, Babcock, Hisex, SASSO, Hypor, Kona Bay, Troutlodge y Landcatch . Más de 3 mil 500 empleados; operaciones en más de 25 países. |

Fuente: Grupo ETC, de informes de las empresas y noticias de la industria.

Aunque el valor del sector de la genética ganadera es relativamente pequeño (menos de una quinta parte del tamaño de la industria mundial de semillas, por ejemplo), su reserva genética patentada sustenta una enorme industria de proteína animal que tiene impactos de gran alcance en las emisiones de gases de efecto invernadero y el medio ambiente (incluida la contaminación del agua y del suelo y la importación de alimentos de países con altos niveles de deforestación), la diversidad del ganado, el bienestar animal y más. En este informe nos centramos en tres subsectores de la genética ganadera industrial: aves, cerdos y acuicultura.

CRIADORES INDUSTRIALES DE AVES DE CORRAL

Con un valor de mercado estimado de 311 mil millones de dólares en 2020, las aves de corral son la proteína animal más popular del mundo y el consumo está creciendo a un ritmo más rápido que cualquier otro sector de proteínas animales.⁹ Los analistas predicen que el mercado de la carne de aves alcanzará los 422 mil millones de dólares para 2025.¹⁰ A nivel mundial, se espera que las aves de corral representen el 41% de todas las proteínas de fuentes cárnicas para 2030.¹¹

Aves de corral: ¿Quién gobierna el gallinero?

Genética avícola comercial: empresas líderes por sector, 2020

| Pollos de engorde | Aves ponedoras | Pavos |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> · EW Group (Alemania) · Hendrix Genetics (Países Bajos) · Tyson Foods (EUA) | <ul style="list-style-type: none"> · EW Group (Alemania) · Hendrix Genetics (Países Bajos) · Novogen (Francia) <i>adquirida por EW Group en 2021</i> | <ul style="list-style-type: none"> · EW Group (Alemania) · Hendrix Genetics (Países Bajos) |

Fuente: Grupo ETC

A nivel mundial, sólo tres empresas controlan la genética avícola comercial, lo que lo convierte en el sector más concentrado en la cadena alimentaria industrial. **EW Group** y **Hendrix Genetics** son dinastías familiares que se centran en la genética ganadera multiespecífica. (A partir de noviembre de 2021, Hendrix Genetics es propiedad en un 50% de la firma de capital privado Paine Schwartz Partners¹²). **Tyson Foods** (43 mil millones de dólares de ventas, 2020¹³) es la quinta empresa de alimentos y bebidas más grande del mundo, y su subsidiaria de propiedad absoluta, **Cobb-Vantress**, es uno de los tres criadores de carne de pollo (pollos de engorde) más grandes del mundo.

Aves ponedoras: Dos empresas privadas dominan el mundo:

(1) **Hy-Line Genetics** de **EW Group**; 2) **Hendrix Genetics**. El tercer criador multinacional de genética de ponedoras, **Novogen** (anteriormente propiedad de Groupe Grimaud, con sede en Francia), fue adquirido por EW Group en diciembre de 2021.¹⁴

China, el mercado de huevos más grande del mundo, representa más del 40% de la producción mundial de huevos. En 2009, los pequeños agricultores de China, no las granjas industriales, produjeron más del 75% de los huevos de China.¹⁵ Hoy, las capas de China se están industrializando rápidamente. La gran mayoría del ganado reproductor de China para gallinas ponedoras industriales proviene de EW Group y Hendrix. En 2019, Hy-Line Genetics de EW Group estimó que su genética representaba una participación del 60% del mercado total de ponedoras chinas.¹⁶

Pollos de engorde: Dos empresas dominan la cría industrial en todo el mundo: 1) subsidiaria de **Tyson Foods: Cobb-Vantress**; 2) EW Group (subsidiarias: **Aviagen; Hubbard**). En 2020, China produjo 18.6 millones de toneladas métricas de pollo, prácticamente todo procedente de reproductores importados.¹⁷

Pavos: Dos empresas dominan abrumadoramente: **Hendrix Genetics** y **EW Group**. Existen criadores más pequeños que se especializan en razas patrimoniales, pero no compiten en la misma escala. El mercado mundial de carne de pavo alcanzó un máximo de casi 13 mil millones de dólares en 2019. Estados Unidos representa alrededor del 45%, en volumen, de la producción mundial.¹⁸

La concentración del mercado en genética avícola genera dependencia y vulnerabilidad

- Algunos países e incluso continentes dependen de sólo dos criadores industriales para proporcionar las existencias genéticas para su industria de pollos de engorde.¹⁹ Según la Federación de Carne de Pollo de Australia, “casi todos” los pollos de engorde del país se basan en dos cepas híbridas (comúnmente denominadas Ross y Cobb) que son propiedad de dos empresas (EW Group y Tyson, respectivamente).
- Incluso los países que son autosuficientes en la producción de carne de pollo reconocen que su dependencia de reproductores importados plantea graves problemas de seguridad alimentaria. En 2020, Rusia importó el 98% de sus reproductores de pollos de engorde de empresas multinacionales.²⁰ Ya en 2020, el gobierno ruso temía “que posibles sanciones que afecten a la importación de cruza puedan llevar a la industria avícola rusa al borde del colapso”.²¹
- En 2020, China produjo 18.6 millones de toneladas métricas de pollo, prácticamente todo procedente de reproductores importados. En diciembre de 2021, los criadores chinos dieron a conocer tres nuevas variedades criadas en el país que esperan acaben con la dependencia de 17 años del país de los recursos genéticos importados.²²

La genética ganadera industrial está penetrando en todas las regiones del mundo, incluso bajo la apariencia de “agricultura sostenible”. Por ejemplo, en algunos países africanos y asiáticos, donde las aves autóctonas todavía representan hasta el 80% de la población avícola, las importaciones de reproductores avícolas podrían ser inminentes.²³ En 2019, Hendrix Genetics recibió una subvención plurianual de la Fundación Bill y Melinda Gates para el programa Acceso sostenible a aves de corral reproductoras en África (SAPPSA).²⁴ El objetivo es “proporcionar mejores reproductores y soluciones genéticas” para los avicultores en el África subsahariana (por ejemplo, Mozambique, Zambia, Zimbabue, Burkina Faso y más). Según Hendrix, la empresa proporciona animales reproductores libres de enfermedades e instrucción sobre cómo construir alojamientos avícolas bioseguros que permitirán la exportación de genética de calidad.²⁵ El proyecto afirma que introducirá cruces que se adaptan a entornos desafiantes²⁶ e incluso contribuirá a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU.²⁷ La preocupación es que la introducción de ganado y tecnologías importadas en última instancia creará una mayor dependencia de los insumos intensivos en capital, marginará a los ganaderos locales y acelerará la pérdida de razas autóctonas.

Fracasos en la reproducción de pollos de engorde de crecimiento rápido:

Los pollos de engorde industriales de hoy se han convertido en la proteína más prolífica y popular del mundo. Pero la cría industrial también está socavando el estado físico de las aves. La consolidación de la cría industrial de pollos en manos de sólo dos empresas ha dado como resultado dos líneas híbridas de rápido crecimiento que representan el 90% de todos los pollos de engorde en todo el mundo: 1) Ross 308 de EW Group; y 2) Cobb 500 de Tyson.²⁸ A pesar de sus espectaculares tasas de conversión alimenticia, la genética alterada de estas aves ha generado una serie de enfermedades físicas que degradan la textura de la carne de pollo y dañan el bienestar animal.²⁹ Muchos pollos industriales (incluidos tanto Ross como Cobb) sufren de miopatía muscular, lo que resulta en condiciones como “pechuga de espagueti”, “pechuga leñosa” y “enfermedad de rayas blancas”. Cuando las aves aumentan de peso demasiado rápido, sus sistemas de circulación no pueden seguir el ritmo. Partes del seno se convierten en tejido muerto porque no tienen un suministro de sangre adecuado. El síndrome de la mama leñosa hace que el tejido muscular se endurezca. (En 2016, el Wall Street Journal informó que entre el 5 y el 10% de los filetes de pechuga de pollo deshuesados en todo el mundo se vieron afectados por la pechuga leñosa).³⁰ La pechuga de espagueti da como resultado una fibra muscular suave y blanda que se deshace en secciones fibrosas. Cuando las aves se ven afectadas por estos trastornos musculares, la carne de baja calidad debe desecharse o venderse con descuento. Algunas aves pesadas y de pecho grande están desarrollando un problema de salud adicional: celulitis subcutánea, una condición que resulta de sentarse en estiércol húmedo.³¹ Los procesadores de alimentos ahora están bajo una presión cada vez mayor del público para vender “carne criada humanamente”, incluida la demanda de “pollos de engorde de crecimiento más lento”. Pero lleva tiempo modificar las bandadas globales; según un vocero de la industria, hay una brecha de tres a cinco años entre las selecciones genéticas hechas a nivel de pedigrí y el pollo en su plato.³²

El eslabón más débil

Hace casi 10 años, la FAO advirtió que “la salud del ganado es el eslabón más débil de nuestra cadena mundial de salud”.³³ Más del 70% de las nuevas enfermedades humanas que han surgido en las últimas décadas son de origen animal,³⁴ y las granjas industriales son incubadoras de enfermedades zoonóticas (las que se transmiten de animales a humanos).

Los rasgos genéticamente uniformes que sustentan el espectacular crecimiento de las razas de ganado industrial es precisamente lo que hace que estos rebaños y manadas sean excepcionalmente vulnerables a los brotes de enfermedades. Un veterinario describe la amenaza de la influenza aviar para los pollos industriales: “Todos tienen el mismo sistema inmunitario, o carecen de un sistema inmunitario, por lo que una vez que un virus ingresa a un establo, se propagará como un reguero de pólvora”.³⁵ Si un virus que surge en una granja industrial muta, puede representar una grave amenaza para la salud humana. Un estudio de 2018 que examinó la aparición de 39 virus aviares altamente patógenos encontró que todos menos dos provenían de granjas avícolas industriales.³⁶

¿Edición de genes para huevos éticos?

La investigación de edición de genes está en marcha en el sector avícola de todo el mundo, especialmente en relación con el desarrollo de vacunas (por ejemplo, influenza aviar, enfermedad de Marek y bursitis infecciosa). Para eludir la resistencia pública a una controvertida tecnología de ingeniería genética, los defensores de la edición de genes la promocionan como la clave para mejorar el bienestar de los animales de granja industrial.³⁷ Irónicamente, esto significa abordar las prácticas estándar de la industria que ahora se consideran “poco éticas”. Por ejemplo, la industria de gallinas ponedoras desecha 4 mil millones de pollitos machos de un día al año.³⁸ Los equipos de investigación en el Reino Unido, Australia e Israel están explorando el uso de la edición de genes CRISPR para controlar el sexo de las crías de pollo para reducir drásticamente el sacrificio en la industria avícola.³⁹ Si las gallinas sólo produjeran pollitos hembras, se evitaría la matanza de miles de millones de pollitos machos de un día no deseados que son sacrificados después de la eclosión.⁴⁰ Alemania y Francia ya aprobaron leyes para prohibir el sacrificio de pollitos de un día a partir de 2023. Sin embargo, se están desarrollando métodos alternativos de sexado de embriones (por ejemplo, clasificación basada en hormonas sexuales, resonancias magnéticas) que no implican ingeniería genética.⁴¹

GENÉTICA PORCINA INDUSTRIAL

La mayoría de las empresas de genética porcina son de propiedad privada, con requisitos de divulgación financiera limitados. Eso hace que sea difícil evaluar el desempeño a nivel de empresa y el nivel de concentración del sector. **Genus Plc** del Reino Unido, propietaria de PIC (Pig Improvement Company) y que se encuentra entre las pocas empresas de genética animal que cotizan en bolsa, reclama una participación de mercado mundial del 16% para la genética porcina.⁴² Al igual que los criadores de aves de corral, los criadores de cerdos se basan en una gama limitada de razas uniformes para facilitar las operaciones ganaderas cada vez más intensivas (porque las razas uniformes implican requisitos de alimentación e infraestructura uniformes).⁴³

El virus del cerdo proporciona una vista previa de la pandemia. En enero de 2020, cuando la OMS comenzó a informar sobre la Covid-19, enfermedad provocada por un virus altamente transmisible y potencialmente mortal en circulación en China,⁴⁴ la industria porcina del país

había estado lidiando con su propio virus altamente transmisible durante más de un año. La peste porcina africana (PPA), una enfermedad hemorrágica en los cerdos que casi siempre es mortal, estalló en agosto de 2018 y se propagó rápidamente; no existe una vacuna ni un tratamiento eficaz para la peste porcina africana. El virus diezmo la población porcina de China. En el primer año del brote del virus, los investigadores estiman que más de 43 millones de cerdos en China murieron de peste porcina africana o fueron sacrificados para prevenir la transmisión de peste porcina africana.⁴⁵ Para cuando la epidemia fue (en su mayoría)⁴⁶ controlada en 2020, el número de víctimas ascendió al 60% de la cabaña porcina de China.⁴⁷ El mayor país consumidor y exportador de carne de cerdo del mundo respondió a la crisis, primero asegurando las importaciones para el consumo interno, luego reabasteciendo su hato de cría para recuperar la capacidad de producción, a un costo estimado de 60 mil millones de dólares.⁴⁸

A lo largo de 2020, miles de cerdas reproductoras y verracos volaron a China en aviones fletados; fue un impulso bienvenido para una industria de aerolíneas que languidece debido a las restricciones de viaje relacionadas con Covid.⁴⁹ Las importaciones récord de China trajeron recompensas para los mayores criadores de cerdos fuera de China, aunque no indefinidamente. **Axiom** (Francia), **Genus Plc** (Reino Unido), **Topigs Norsvin** (Países Bajos) y **Genesis** (Canadá) exportaron en cifras récord; al mismo tiempo, las empresas chinas comenzaron a expandir su propia capacidad de producción cuando los precios de la carne de cerdo alcanzaron su punto máximo a fines de 2019 y principios de 2020.⁵⁰ Para septiembre de 2020, **Muyuan Foods** de China había abierto la instalación de producción de cerdos más grande del mundo cerca de Nanyang. El sitio de varios pisos puede albergar 84 mil cerdas y tiene como objetivo producir más de 2 millones de cerdos por año.⁵¹

Engorde de las granjas porcinas de China. La epidemia de peste porcina africana también catalizó una reducción drástica en el número de granjas porcinas de propiedad familiar a pequeña escala en China,⁵² un cambio que había estado en la agenda del gobierno antes del brote de peste porcina africana y que ya estaba en marcha.⁵³ Justo antes del cambio de siglo, China albergaba más diversidad de cerdos que cualquier otro país (con 72 razas),⁵⁴ pero, para 2005, el 74% de los cerdos de China eran criados en sistemas industriales.⁵⁵ Con la industrialización, una raza híbrida reemplazó a razas de diferentes tamaños y atributos que antes se criaban en pequeñas granjas familiares.⁵⁶

En 2021, **Genesis** de Canadá actualizó su clasificación de los 40 “megaprodutores” principales del mundo, es decir, productores de carne de cerdo con más de 100 mil cerdas, según los recuentos de finales de 2020.⁵⁷ China tiene más empresas en la lista que cualquier otro país (15 de las 40), incluidas las cinco principales de la lista: **Muyuan Foods**, **Wens Group**, **WH Group (Smithfield Foods)**, **Zhenbang Group** y **New Hope Group**; **COFCO**, de propiedad estatal, es el número 18. Cinco de las 15 empresas chinas están en la lista por primera vez, lo que sugiere el ritmo vertiginoso de la industrialización y la impresionante velocidad con la que China reabasteció su rebaño, con el objetivo (eventualmente) de destetarse del ganado reproductor extranjero. (**Genus Plc** afirma que vende material de reproducción a un tercio de los 50 principales productores de carne de cerdo en China⁵⁸ y recibe regalías de su genética patentada

en función de “variables clave de rendimiento”, como el peso del cerdo al momento del sacrificio.⁵⁹) El mercado porcino de gran éxito de China atrajo a CP Foods de Tailandia para acumular 43 empresas relacionadas con la porcicultura en el país (39 operaciones de cría de cerdos y cuatro empresas de procesamiento de carne de cerdo) en un acuerdo valorado en más de 4 mil millones de dólares.⁶⁰ Las adquisiciones dan a CP Foods una capacidad de 7.2 millones de cerdos al año en 22 provincias de China.⁶¹ La inversión masiva de CP Foods en China sigue a la adquisición en 2019 del procesador canadiense de carne de cerdo **HyLife** por 272 millones de dólares.⁶²

¿Cerdos inteligentes? La intensificación de la cría de cerdos también intensifica los desafíos de alimentación, contención, monitoreo, procesamiento y saneamiento y, por supuesto, se proponen nuevas tecnologías para ayudar a superar esos desafíos. Un paquete de tecnologías de inteligencia artificial (IA) que procesa cantidades masivas de datos en tiempo real incluye etiquetado electrónico, reconocimiento facial y de voz (para identificar los chillidos de lechones angustiados) y detección de calor. Paquetes de IA, como el “Cerebro Agrícola ET” de Alibaba,⁶³ se están utilizando en las operaciones porcinas más grandes del mundo.⁶⁴

Si bien las empresas aplican tecnologías de inteligencia artificial para permitir operaciones porcinas cada vez más grandes, algunas empresas también pretenden aplicar tecnologías genéticas para alterar a los propios cerdos. Las nuevas tecnologías de “edición de genes” como CRISPR-Cas9 hacen posible eliminar o reorganizar piezas del material genético de un animal para “diseñar” rasgos particulares, como la resistencia a enfermedades o la tolerancia al calor. El PIC de Genus ha producido cientos de cerdos editados genéticamente, con miles de descendientes, que han sido diseñados para resistir el virus que causa el síndrome respiratorio y reproductivo porcino (PRRS). PRRSv es altamente infeccioso y afecta particularmente a las granjas porcinas en Estados Unidos.⁶⁵ Si bien Genus informa que sus cerdos editados genéticamente están atravesando el proceso regulatorio tanto en Estados Unidos como en China, los investigadores de la compañía admiten que los lechones transgénicos recién nacidos exhiben la edición “correcta” sólo entre el 20 y el 30 % de las veces.⁶⁶

“Dado el tiempo de cómputo, los datos requeridos, la infraestructura de equipamiento necesaria y el costo, actualmente tiene sentido utilizar IA sólo si está criando millones de cerdos, no sólo uno o dos... La lógica es sorprendente. La demanda de carne de cerdo impulsa la cría industrializada de cerdos, lo que aumenta la transmisión de enfermedades. La constante aparición de enfermedades impulsa la implementación de nuevas tecnologías como la cría de cerdos con IA. Estas tecnologías continúan abaratando la carne de cerdo, impulsando aún más la disponibilidad y la demanda... La IA no es el bálsamo para ningún problema, es sólo una parte de la búsqueda siempre hambrienta de escala.” De Xiaowei Wang, *Blockchain Chicken Farm and Other Stories of Tech from China’s Countryside*.

ACUICULTURA GENÉTICA/CRIANZA

Criadores de ganado industrial, así como inversores de capital privado,⁶⁷ están acudiendo en masa a la piscicultura y la genética porque la acuicultura está en auge en todo el mundo y el potencial para aplicar la selección genética y la genómica a especies de alto valor está relativamente desaprovechado.

- A nivel mundial, desde 2016, la acuicultura ha sido la principal fuente de pescado disponible para el consumo humano.⁶⁸ De 1990 a 2018, la producción acuícola mundial se disparó un 527% y se prevé que siga creciendo.⁶⁹
- El mercado mundial de la acuicultura se valoró en aproximadamente 204 mil millones de dólares en 2020 y los analistas predicen que alcanzará los 262 mil millones de dólares a finales de 2026.⁷⁰
- Asia es, por mucho, el productor acuícola más grande y diverso del mundo, y China por sí sola representó el 58% del volumen mundial de la acuicultura y el 59% de su valor en 2017.⁷¹
- Las empresas multinacionales de genética ganadera que realizan investigación y desarrollo en acuicultura se están centrando en un puñado de especies acuícolas de alto valor: principalmente salmón, camarón, trucha y tilapia. Por el contrario, la acuicultura globalmente abarca alrededor de 425 especies cultivadas (peces, mariscos y algas).⁷²
- Sólo el 11% de la producción acuícola total del mundo se comercializa internacionalmente,⁷³ y se enfoca en relativamente pocas especies de sólo un puñado de países. El salmón, los camarones, el bagre y la tilapia representan en conjunto alrededor de un tercio de los productos del mar comercializados internacionalmente por valor, pero sólo el 8% de la producción mundial de productos del mar.⁷⁴

El salmón del Atlántico es la superestrella más rentable y de alta tecnología de la piscicultura industrial, y genera unas ventas anuales estimadas en 18 mil millones de dólares.⁷⁵ Noruega y Chile son los mayores productores del mundo. De manera similar a las granjas industriales terrestres, las operaciones industriales de salmón se han convertido en caldos de cultivo masivos para la contaminación ambiental, las enfermedades y los parásitos.⁷⁶

Datos masivos y genómica. La aplicación de tecnologías genéticas y genómicas a la acuicultura industrial es el foco de la investigación tanto del sector público como del privado. Se están realizando experimentos de edición de genes (CRISPR Cas-9) en todo el mundo, y la mayor parte se centra en características como un crecimiento más rápido, la resistencia a las enfermedades y la esterilidad.⁷⁷ Uno de los objetivos de la edición de genes es el objetivo de desarrollar salmón resistente a los parásitos. Las operaciones industriales de salmón en todo el mundo están plagadas de parásitos que se alimentan de la piel y la sangre de los peces, causando lesiones y mortalidad masiva en corrales abarrotados. Un equipo de investigadores canadienses y japoneses se está enfocando en los genes que confieren resistencia a los piojos de mar en el salmón salvaje del Pacífico, con el objetivo de usar la edición de genes para diseñar el mismo rasgo en el salmón del Atlántico de cultivo.⁷⁸

Salmón CRISPR con esterilidad reversible: AKA Terminator

Cada año, cientos de miles de salmones del Atlántico de piscifactoría escapan a la naturaleza.⁷⁹ El escape del salmón y el posible cruce con el salmón salvaje amenaza con contaminar el acervo genético salvaje y propagar enfermedades.⁸⁰ Un enfoque de la edición de genes es el desarrollo de salmones que están diseñados para ser estériles, de modo que los fugitivos no puedan cruzarse con salmones salvajes. Además de la biocontención, la esterilidad diseñada ofrece, en teoría, el beneficio adicional de proteger las existencias de peces propiedad de la empresa.⁸¹ Un equipo de investigadores en Noruega está utilizando la edición de genes (CRISPR-Cas9) para eliminar el gen “callejón sin salida” en el salmón, produciendo embriones de salmón que carecen de células germinales y, por lo tanto, son estériles. Al inyectar embriones genéticamente estériles con tecnología de ARN mensajero, los científicos han restaurado con éxito la fertilidad de los peces, lo que permite el desarrollo de reproductores fértiles que producirán crías estériles para los criaderos. La investigación abre la puerta a “una posibilidad para la producción a gran escala de crías de salmón del Atlántico sin células germinales a través de reproductores genéticamente estériles, que pueden transmitir el rasgo de esterilidad a la próxima generación”.⁸² Para Grupo ETC, y cualquiera que esté familiarizado con la historia de la tecnología de semillas Terminator, la perspectiva de comercializar salmón transgénico con genes de esterilidad modificados es un escenario de pesadilla: la esterilidad diseñada es reversible y no puede funcionar como una herramienta confiable de biocontención.⁸³ La investigación de edición de genes sobre la esterilidad del salmón en Noruega aún se encuentra en etapas iniciales y aún no se ha sometido a una evaluación de impacto ecológico, revisión regulatoria o debate público. La industria de la genética de la acuicultura está, hasta ahora, asustada por respaldar públicamente tecnologías de ingeniería genética controvertidas.⁸⁴

Quizás de manera más fantasiosa, los científicos chinos están utilizando la edición de genes para desarrollar especies de carpa “sin espinas”.⁸⁵ La perspectiva de “peces fileteados genéticamente” es un objetivo complejo a más largo plazo, pero, según se informa, los investigadores chinos han eliminado al menos dos genes que controlan la osamenta.⁸⁶

Las piscifactorías industriales ya emplean una amplia gama de ciencias aplicadas de alta tecnología y uso intensivo de datos en todos los niveles de reproducción, producción y procesamiento, incluida la inteligencia artificial y la vigilancia para la bioseguridad y el rastreo. Por ejemplo, uno de los mayores productores de salmón del mundo, Cermaq, es pionero en su iFarm en Noruega, que utiliza tecnología de reconocimiento facial en tiempo real que, según se informa, permite la identificación de cada salmón individual y garantiza que los peces estén sanos.⁸⁷ La tecnología también está diseñada para reducir costos al monitorear los piojos de mar.

Notas y fuentes

- ¹ ResearchandMarkets, “Animal Genetics Industry Insights, 2019-2024 - Existing & Emerging Technologies, Supply Chain Analysis, Profitability by Region,” *NASDAQ OMX’s News Release Distribution Channel*, (31 de marzo de 2020), <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/03/31/2008939/0/en/Animal-Genetics-Industry-Insights-2019-2024-Existing-Emerging-Technologies-Supply-Chain-Analysis-Profitability-by-Region.html>
- ² Ver el sitio web de CPF, CPF Sales Revenue: 590,000 million THB: <https://www.cpfworldwide.com/en/investors/highlights/revenue>
- ³ Tyson Foods, Form 10-K, 2020, p. 33: https://s22.g4cdn.com/104708849/files/doc_financials/2020/ar/Tyson-2020-10K.pdf
- ⁴ Sitio web deTyson: <https://ir.tyson.com/about-tyson/facts/default.aspx>
- ⁵ Mowi Annual Report, 2020; revenue for 2020, €3,760 million, p. 10: https://corpsite.azureedge.net/corpsite/wp-content/uploads/2021/03/Mowi_Integrated_Annual_Report_2020.pdf
- ⁶ Sitio web de Mowi: <https://mowi.com/about/>
- ⁷ Catherine Lankes, “Forbes: A New Billionaire Every 17 Hours,” *Deutsche Welle*, (8 de abril de 2021), <https://p.dw.com/p/3rjXP>
- ⁸ Genus Annual Report, 2021; revenue for 2020, £551.4 million, p. 2: <https://www.genusplc.com/media/1875/genus-plc-annual-report-2021.pdf>
- ⁹ Derya Yildiz, “Global Poultry Industry and Trends,” *Feed Additive*, (11 de marzo de 2021), <https://www.feedandadditive.com/global-poultry-industry-and-trends/>
- ¹⁰ Derya Yildiz, “Global Poultry Industry and Trends,” *Feed Additive*, (11 de marzo de 2021), <https://www.feedandadditive.com/global-poultry-industry-and-trends/>
- ¹¹ OCDE y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, “OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030,” (5 de julio de 2021), <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- ¹² Hendrix Genetics, “Paine Schwartz Makes Strategic Investment in Hendrix Genetics,” (22 de noviembre de 2021), <https://www.hendrix-genetics.com/en/news/paine-schwartz-makes-strategic-investment-hendrix-genetics/>
- ¹³ Tyson Foods news release, “Tyson Foods Reports Strong Fourth Quarter And Fiscal 2020 Results,” (16 de noviembre de 2020), <https://www.tysonfoods.com/news/news-releases/2020/11/tyson-foods-reports-strong-fourth-quarter-and-fiscal-2020-results>
- ¹⁴ Verbeek news release, “Takeover Novogen and Verbeek by EW GROUP,” (28 de diciembre de 2021), <https://www.verbeek.com/gb/news/takeover-novogen-and-verbeek-by-ew-group/190>
- ¹⁵ Vincent Guyonnet, “Chinese egg companies increasingly large scale,” *WATT Poultry.com*, (16 de diciembre de 2021), <https://www.wattagnet.com/articles/44105-chinese-egg-companies-increasingly-large-scale>
- ¹⁶ Anónimo, “HatchTech selected by Huayu to build major new Chinese parent stock hatchery for Hy-Line genetics,” *The Poultry Site*, (6 de diciembre de 2019), <https://www.thepoultrysite.com/news/2019/12/hatchtech-selected-by-huayu-to-build-major-new-chinese-parent-stock-hatchery-for-hy-line-genetics>
- ¹⁷ Zhao Yimeng, “Broiler breakthrough for Chinese chicken,” *China Daily*, (10 de diciembre de 2021), <https://www.chinadaily.com.cn/a/202112/10/WS61b2ba9fa310cdd39bc7a91b.html>
- ¹⁸ Anónimo, “Poland Emerges as the Fastest-Growing Exporter at the Global Turkey Meat Market,” *Global Trade Mag*, (31 de octubre de 2020), <https://www.globaltrademag.com/poland-emerges-as-the-fastest-growing-exporter-at-the-global-turkey-meat-market/>
- ¹⁹ Australia, por ejemplo, y según la Federación Australiana de Carne de Pollo: “Casi todos los pollos de carne australianos actuales proceden de razas híbridas desarrolladas por Aviagen y Cobb, y las razas híbridas específicas utilizadas en Australia (denominadas ‘Ross’ y ‘Cobb’) son prácticamente las mismas que se utilizan en todo el mundo”.

-
- ²⁰ Vladislav Vorotnikov, "Russia wants to cut import-dependence breeding stock," *Poultry World*, (9 de junio de 2020), <https://www.poultryworld.net/poultry/russia-wants-to-cut-import-dependence-breeding-stock/>
- ²¹ Vladislav Vorotnikov, "Russia wants to cut import-dependence breeding stock," *Poultry World*, (9 de junio de 2020), <https://www.poultryworld.net/poultry/russia-wants-to-cut-import-dependence-breeding-stock/>
- ²² Zhao Yimeng, "Broiler breakthrough for Chinese chicken," *China Daily*, (10 de diciembre de 2021), <https://www.chinadaily.com.cn/a/202112/10/WS61b2ba9fa310cdd39bc7a91b.html>
- ²³ FAO, "Producción y productos avícolas" (s. f.), <https://www.fao.org/poultry-production-products/production/breeding/es/>
- ²⁴ Hendrix news release, "Improving genetic performance in Africa," (21 de julio de 2021), <https://www.hendrix-genetics.com/en/news/improving-genetic-performance-africa/>
- ²⁵ Hendrix news release, "The sustainable African poultry project: one year later," (12 de diciembre de 2019), <https://www.hendrix-genetics.com/en/news/sappsa-sustainable-african-poultry-project-one-year-later/>
- ²⁶ FAO, "El aumento de las enfermedades de origen animal requiere un nuevo enfoque de la salud: informe", (16 de diciembre de 2013), <https://www.fao.org/news/story/es/item/210764/icode/>
- ²⁷ Hendrix Genetics, "Sustainable Access to Poultry Parent Stock to Africa," (s. f.), <https://www.hendrix-genetics.com/en/about/our-company/sustainability-program/sappsa/>
- ²⁸ Michael Scaturro, "How Chickens Became Like Apple and Android Phones," *Heated*, (14 de enero de 2020), <https://heated.medium.com/how-chickens-became-like-apple-and-android-phones-85378e97799e> Nota: El excelente artículo de Scaturro rastrea la historia de Ross y Cobb.
- ²⁹ Bob Reid, "Super growth rate damaging to broiler chicken," *Ontario Farmer*, (21 de enero de 2022).
- ³⁰ Kelsey Gee, "Bigger Chickens Bring a Tough New Problem: 'Woody Breast'; Muscle condition in fast-growing broilers poses no human-health risk but can make meat feel 'gummy,' harder to chew," *Wall Street Journal*, (28 de marzo de 2016)
- ³¹ Bob Reid, "Super growth rate damaging to broiler chicken," *Ontario Farmer*, (21 de enero de 2022),
- ³² Austin Alonzo, "Slower growing broilers coming in 2026," *WattPoultry.com*, (enero 2022), <https://www.wattagnet.com/articles/44272-slower-growing-broilers-coming-in-2026>
- ³³ FAO, "El aumento de las enfermedades de origen animal requiere un nuevo enfoque – informe," (16 de diciembre de 2013), <https://www.fao.org/news/story/es/item/210764/icode/>
- ³⁴ FAO, "El aumento de las enfermedades de origen animal requiere un nuevo enfoque – informe," (16 de diciembre de 2013), <https://www.fao.org/news/story/es/item/210764/icode/>
- ³⁵ Andrew Jacobs, "Avian Flu Spreading Through Eastern U.S. Worries Poultry Farms," *New York Times*, (25 de febrero de 2022).
- ³⁶ Andrew Jacobs, "Avian Flu Spreading Through Eastern U.S. Worries Poultry Farms," *New York Times*, (25 de febrero de 2022).
- ³⁷ Nuffield Council on Bioethics, Genome editing and farmed animal breeding: social and ethical issues, (21 de diciembre de 2021), <https://www.nuffieldbioethics.org/>
- ³⁸ Ver, por ejemplo, el sitio web de Eggxyt, empresa israelí que usa CRISPR para desarrollar la detección del sexo en embriones de pollo: <https://www.eggxyt.com/>
- ³⁹ Gretchen Vogel, "'Ethical' eggs could save male chicks from mass slaughter," *Science*, (14 de agosto de 2019), <https://www.science.org/content/article/ethical-eggs-could-save-male-chicks-mass-slaughter>
- ⁴⁰ Mark Pasveer, "Gene-editing breakthrough could end male chick culling," *Poultry World*, (16 de diciembre de 2021), <https://www.poultryworld.net/Genetics/Articles/2021/12/Gene-editing-breakthrough-could-end-male-chick-culling-832053E/>

-
- ⁴¹ Gretchen Vogel, “‘Ethical’ eggs could save male chicks from mass slaughter,” *Science*, (14 de agosto de 2019), <https://www.science.org/content/article/ethical-eggs-could-save-male-chicks-mass-slaughter>
- ⁴² Genus Plc, *Annual Report, 2021*, p. 5: <https://www.genusplc.com/media/1875/genus-plc-annual-report-2021.pdf> Según la compañía, la estimación de Genus se basa en “agencias gubernamentales, Eurostat, organizaciones porcinas y estimaciones de Genus.”
- ⁴³ Ver, p.ej., G. Q. Tang, J. Xue, M. J. Lian, R. F. Yang, T. F. Liu, Z. Y. Zeng, A. A. Jiang, Y. Z. Jiang, L. Zhu, L. Bai, Z. Wang y X. W. Li, “Inbreeding and genetic diversity in three imported Swine breeds in China using pedigree data,” *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, Vol. 26, 6 (2013), pp. 755-65: <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12645>
- ⁴⁴ Organización Mundial de la Salud, *COVID-19: cronología de la actuación de la OMS*, (27 de abril de 2020), <https://www.who.int/es/news/item/27-04-2020-who-timeline---covid-19>
- ⁴⁵ Shibing You, Tingyi Liu, Miao Zhang, Xue Zhao, Yizhe Dong, Bi Wu, Yanzhen Wang, Juan Li, Xinjie Wei y Baofeng Shi, “African swine fever outbreaks in China led to gross domestic product and economic losses,” *Nature Food*, publicado en línea (27 de septiembre de 2021), <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00362-1>
- ⁴⁶ Para obtener información actualizada sobre los brotes de peste porcina africana, ver: <https://www.woah.org/en/disease/african-swine-fever/#ui-id-2>
- ⁴⁷ Dominique Patton, “Pigs fly in as China replenishes world’s biggest hog herd,” *Reuters*, (2 de abril de 2020), <https://www.reuters.com/article/us-china-swinefever-pigs-imports/pigs-fly-in-as-china-replenishes-worlds-biggest-hog-herd-idUSKBN21K14T>
- ⁴⁸ Genesus, “World Mega Producers,” (s. f.), <https://genesus.com/global-mega-producers/>
- ⁴⁹ Dominique Patton, “Pigs fly in as China replenishes world’s biggest hog herd,” *Reuters*, (2 de abril de 2020), <https://www.reuters.com/article/us-china-swinefever-pigs-imports/pigs-fly-in-as-china-replenishes-worlds-biggest-hog-herd-idUSKBN21K14T>
- ⁵⁰ Evelyn Cheng, “China’s hog farmers struggle as pork prices swing and throw off debt-fueled expansion plans,” *CNBC*, (12 de septiembre de 2021), <https://www.cnbc.com/2021/09/13/chinas-hog-farmers-struggle-as-pork-prices-swing-and-throw-off-debt-fueled-expansion-plans.html>
- ⁵¹ Dominique Patton, “Flush with cash, Chinese hog producer builds world’s largest pig farm,” *Reuters*, (7 de diciembre de 2020), <https://www.reuters.com/article/us-china-swinefever-muyuanfoods-change-s/flush-with-cash-chinese-hog-producer-builds-worlds-largest-pig-farm-idUSKBN28H0MU>
- ⁵² Xiaowei Wang, “Behind China’s ‘pork miracle’: how technology is transforming rural hog farming,” *The Guardian*, (8 de octubre de 2020), <https://www.theguardian.com/environment/2020/oct/08/behind-chinas-pork-miracle-how-technology-is-transforming-rural-hog-farming>
- ⁵³ “We will ensure that livestock, poultry, and aquaculture farming are further standardized and brought up to scale,” according to China’s Communist Party’s *13th Five-Year Plan for Economic and Social Development of the People’s Republic of China (2016-2020)*, Chapter 18, Section 2: <https://en.ndrc.gov.cn/policies/202105/P020210527785800103339.pdf>
- ⁵⁴ FAO, “Country Report for the Preparation of the First Report on the State of the World’s Animal Genetic Resources,” *Report on Domestic Animal Genetic Resources in China*, Beijing, p. 12: (junio, 2003), <https://fermer.ru/files/v2/forum/256739/china.pdf>
- ⁵⁵ Beate D. Scherf & Dafydd Pilling, eds., *The Second Report on the State of the World’s Animal Genetic Resources for Food and Agriculture*, 2015, FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments, p. 182, (2015), <https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/a-i4787e.pdf>
- ⁵⁶ Xiaowei Wang, “Behind China’s ‘pork miracle’: how technology is transforming rural hog farming,” *The Guardian*, (8 de octubre de 2020), <https://www.theguardian.com/environment/2020/oct/08/behind-chinas-pork-miracle-how-technology-is-transforming-rural-hog-farming>
- ⁵⁷ Genesus, “World Mega Producers,” (s. f.), <https://genesus.com/global-mega-producers/>

-
- ⁵⁸ Genus Plc, "Interim Results: Half year ended 31 December 2020," p. 8: <https://www.genusplc.com/media/1727/genus-results-presentation-31-december-2020-final.pdf>
- ⁵⁹ Según Genus, *Annual Report, 2021*, p. 116: "Recibimos pagos de regalías de ciertos clientes porcinos en función de variables clave de rendimiento, como la cantidad de cerdos nacidos por camada, la cantidad de camadas nacidas por cerda y el peso promedio al sacrificio de los animales nacidos."
- ⁶⁰ CP Foods news release, "CPF proposes to integrate swine business in China / CTI, its subsidiary, to acquire pig farms in China / Profit jumps abruptly in line with business expansion plan to further growth," (19 de septiembre de 2020), <https://www.cpfworldwide.com/en/media-center/corporate-1436>
- ⁶¹ Masayuki Yuda, "Thai CP Group to build China pork business through share swap," *Nikkei Asia*, (14 de septiembre de 2020), <https://asia.nikkei.com/Business/Agriculture/Thai-CP-Group-to-build-China-pork-business-through-share-swap>
- ⁶² Anónimo, "Thai CPF to acquire Canadian pork producer HyLife for \$372 million," *Reuters*, (21 de abril de 2019), <https://www.reuters.com/article/us-charoen-pok-food-investment/thai-cpf-to-acquire-canadian-pork-producer-hylife-for-372-million-idUSKCN1RY07K>
- ⁶³ Xiaowei Wang, "Behind China's 'pork miracle': how technology is transforming rural hog farming," *The Guardian*, (8 de octubre de 2020), <https://www.theguardian.com/environment/2020/oct/08/behind-chinas-pork-miracle-how-technology-is-transforming-rural-hog-farming>
- ⁶⁴ Vincent Ter Beek, "Alibaba Cloud launches smart brain for pig farms," *Pig Progress*, (20 de junio de 2018), <https://www.pigprogress.net/world-of-pigs/alibaba-cloud-launches-smart-brain-for-pig-farms/>
- ⁶⁵ David Thompson y Madonna Benjamin, "UPDATE: Progress toward PRRSv-resistant pigs," Michigan State Extension, (26 de julio de 2021), <https://www.canr.msu.edu/news/update-progress-toward-prrsv-resistant-pigs>
- ⁶⁶ Antonio Regalado, "Lessons from the Pig Epidemic," *Technology Review*, p. 47, (11 de diciembre de 2020).
- ⁶⁷ Dominic Welling, "Private equity's massive war chest puts seafood industry in the crosshairs," *Intrafish*, (6 de diciembre de 2021), <https://www.intrafish.com>. Ver también: Drew Cherry, "A flood of new funds are investing in aquaculture, fisheries and seafood. Will they succeed?," *Intrafish*, (25 de agosto de 2020), <https://www.intrafish.com/opinion/a-flood-of-new-funds-are-investing-in-aquaculture-fisheries-and-seafood-will-they-succeed-/2-1-863268>
- ⁶⁸ Food and Agriculture Organization of the United Nations, *The state of world fisheries and aquaculture 2020*: <http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture>
- ⁶⁹ Food and Agriculture Organization of the United Nations, *The state of world fisheries and aquaculture 2020*: <http://www.fao.org/state-of-fisheries-aquaculture>
- ⁷⁰ U.S. Department of Commerce, "Aquaculture Snapshot: Industry Summary," International Trade Administration, (s.f.), <https://www.trade.gov/aquaculture-industry-summary>
- ⁷¹ Rosamund L. Naylor *et al.*, "A 20 Year Retrospective Review of Global Aquaculture," *Nature*, (24 de marzo de 2021), <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- ⁷² Rosamund L. Naylor, *et al.*, "A 20 Year Retrospective Review of Global Aquaculture," *Nature*, (24 de marzo de 2021), <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- ⁷³ Rosamund L. Naylor, *et al.*, "A 20 Year Retrospective Review of Global Aquaculture," *Nature*, (24 de marzo de 2021), <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- ⁷⁴ Rosamund L. Naylor, *et al.*, "A 20 Year Retrospective Review of Global Aquaculture," *Nature*, (24 de marzo de 2021), <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6>
- ⁷⁵ Erik Stokstad, "Tomorrow's Catch: Genomic technologies promise dramatic gains for aquaculture by accelerating the breeding of better strains," *Science*, (19 de noviembre de 2020), <https://www.science.org/content/article/new-genetic-tools-will-deliver-improved-farmed-fish-oysters-and-shrimp-here-s-what>

-
- ⁷⁶ Mark Kurlansky, "Net loss: the high price of salmon farming," *The Guardian*, (15 de septiembre de 2020), <https://www.theguardian.com/news/2020/sep/15/net-loss-the-high-price-of-salmon-farming>
- ⁷⁷ C. Greg Lutz, "The Use of CRISPR in Aquaculture," *The Fish Site*, (30 de septiembre de 2021), <https://thefishsite.com/articles/the-use-of-crispr-in-aquaculture-gene-editing-in-fish>
- ⁷⁸ C. Greg Lutz, "The Use of CRISPR in Aquaculture," *The Fish Site*, (30 de septiembre de 2021), <https://thefishsite.com/articles/the-use-of-crispr-in-aquaculture-gene-editing-in-fish>
- ⁷⁹ Kevin A. Glover, María Quintela, Vidar Wennevik, François Besnier, Anne G. E. Sørvik, y Øystein Skaala, "Three Decades of Farmed Escapees in the Wild: A Spatio-Temporal Analysis of Atlantic Salmon Population Genetic Structure throughout Norway," *PLoS ONE*, (15 de agosto de 2012), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043129>
- ⁸⁰ Mark Kurlansky, "Net loss: the high price of salmon farming," *The Guardian*, (15 de septiembre de 2020), <https://www.theguardian.com/news/2020/sep/15/net-loss-the-high-price-of-salmon-farming>
- ⁸¹ H. Güralp, K.O. Skaftnesmo, E. Kjærner-Semb *et al.*, "Rescue of germ cells in *dnd* crispant embryos opens the possibility to produce inherited sterility in Atlantic salmon," *Scientific Reports*, 10, 18042, (2020), <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74876-2>
- ⁸² H. Güralp, K.O. Skaftnesmo, E. Kjærner-Semb *et al.*, "Rescue of germ cells in *dnd* crispant embryos opens the possibility to produce inherited sterility in Atlantic salmon," *Scientific Reports*, 10, 18042, (2020), <https://doi.org/10.1038/s41598-020-74876-2>
- ⁸³ Para profundizar ver: Grupo ETC, "Terminator: La secuela," *Comunicado*, (mayo/junio de 2007), https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/644/01/comm95terminators_eq_spa.pdf
- ⁸⁴ Lisa Abend, "A Sterile Solution: How Crispr Could Protect Wild Salmon," *Undark Magazine*, (7 de julio de 2021), <https://undark.org/2021/07/21/crispr-protect-wild-salmon/>
- ⁸⁵ Erik Stokstad, "Tomorrow's Catch: Genomic technologies promise dramatic gains for aquaculture by accelerating the breeding of better strains," *Science*, (19 de noviembre de 2020), <https://www.science.org/content/article/new-genetic-tools-will-deliver-improved-farmed-fish-oysters-and-shrimp-here-s-what>
- ⁸⁶ Erik Stokstad, "Tomorrow's Catch: Genomic technologies promise dramatic gains for aquaculture by accelerating the breeding of better strains," *Science*, (19 de noviembre de 2020), <https://www.science.org/content/article/new-genetic-tools-will-deliver-improved-farmed-fish-oysters-and-shrimp-here-s-what>
- ⁸⁷ Rachel Mutter, "First fish from Cermaq's facial recognition salmon farm ship to market," *IntraFish*, (10 de febrero de 2022), <https://www.intrafish.com/technology/first-fish-from-cermaqs-facial-recognition-salmon-farm-ship-to-market/2-1-1166184>