

campaña de eliminación – elimination drive

Authored by
memjavad

January 17, 2026

RECOMMENDED CITATION

memjavad (2026). *campaña de eliminación – elimination drive*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=8384>

Impulso de Eliminación (Elimination Drive)

Primary Disciplinary Field(s): Genética de Poblaciones, Biología Sintética, Ecología

1. Definición Central y Mecanismos Genéticos

El concepto de **impulso de eliminación** se enmarca dentro del campo más amplio de la tecnología de **impulso genético** ([gene drive](#)), siendo esta una aplicación específica diseñada para reducir drásticamente o erradicar completamente una población de organismos en la naturaleza. A diferencia de la herencia mendeliana tradicional, donde cada alelo tiene una probabilidad del 50% de ser transmitido a la descendencia, un impulso de eliminación confiere una ventaja de segregación super-mendeliana a un rasgo genético específico, asegurando que este rasgo se propague rápidamente a través de una población de reproducción sexual, incluso si el rasgo es perjudicial para la aptitud individual. Este mecanismo rompe las barreras evolutivas naturales, permitiendo que un gen se convierta en ubicuo en pocas generaciones, lo que lo convierte en una herramienta de ingeniería poblacional de potencia sin precedentes.

El mecanismo molecular que subyace a la mayoría de los impulsos de eliminación modernos es el sistema de edición genética [CRISPR-Cas9](#). Este sistema permite a los científicos diseñar secuencias genéticas que no solo portan el rasgo deseado (por ejemplo, esterilidad o susceptibilidad a un pesticida), sino que también codifican las herramientas necesarias (la enzima Cas9 y una guía de ARN) para copiarse a sí mismas en el cromosoma homólogo del organismo. Cuando un organismo portador del impulso de eliminación se aparea, el sistema CRISPR-Cas9 corta el alelo silvestre (no modificado) en el gameto, y utiliza la secuencia del impulso genético como plantilla para la reparación del ADN, un proceso conocido como reparación dirigida por homología (HDR). Es esta eficiencia de copia la que garantiza que casi el 100% de la descendencia herede el impulso, asegurando la rápida difusión del rasgo de eliminación en la población diana a lo largo de sucesivas generaciones.

La meta final de un **impulso de eliminación** es introducir un rasgo que cause la inviabilidad reproductiva o la mortalidad de la población objetivo, provocando un colapso demográfico. Esto se logra típicamente mediante diseños genéticos que apuntan a genes esenciales para la supervivencia o la fertilidad. Un enfoque común es el "impulso de esterilidad", donde el gen impulsado inactiva genes críticos para la fertilidad, resultando en que los individuos que portan el alelo modificado sean estériles. A medida que este alelo se propaga, la tasa de natalidad de la población cae en picado, llevando al punto de no retorno. Es crucial diferenciar este objetivo de eliminación de otras aplicaciones de impulso genético, como el "impulso de modificación o reemplazo", que busca introducir resistencia a patógenos sin el objetivo explícito de erradicar la especie.

2. Contexto Histórico y Desarrollo de la Tecnología

El fundamento teórico para la manipulación genética de poblaciones mediante herencia sesgada se estableció mucho antes de la existencia de herramientas de ingeniería genética precisas. A mediados del siglo XX, la genética de poblaciones exploró la dinámica de los "genes egoístas" o elementos genéticos que maximizan su propia transmisión a expensas de las leyes mendelianas o incluso de la aptitud del organismo huésped. Ejemplos naturales, como los elementos P en *Drosophila* o los endonucleasas homing, demostraron que la herencia super-mendeliana era biológicamente posible, aunque estos sistemas carecían de la versatilidad y control necesarios para ser aplicados como herramientas de control poblacional.

El desarrollo de la biología molecular y, crucialmente, la adaptación del sistema CRISPR-Cas9 a partir de 2012, transformaron el impulso genético de un concepto teórico a una herramienta de ingeniería plausible. CRISPR proporcionó un mecanismo programable y altamente eficiente para la edición precisa del genoma. Investigadores pioneros, como Kevin Esvelt y Andrea Crisanti, demostraron la viabilidad de construir impulsos genéticos sintéticos que podían propagarse rápidamente en organismos modelo como la mosca de la fruta y, posteriormente, en mosquitos vectores. Este avance marcó el inicio de la era del **impulso de eliminación** diseñado, con la capacidad de ser dirigido a sitios genómicos específicos.

La investigación se ha centrado intensamente en la aplicación de impulsos de eliminación contra vectores de enfermedades, como el mosquito *Anopheles gambiae* (malaria) y *Aedes aegypti* (dengue, Zika). El rápido avance de la resistencia de estos vectores a los insecticidas tradicionales ha acelerado la inversión en esta tecnología. El desarrollo ha pasado por rigurosas fases de prueba en laboratorios de máxima contención (P2 y P3), donde se evalúa la eficiencia de transmisión, la estabilidad del rasgo de eliminación y, lo más importante, la probabilidad de que la población desarrolle resistencia, antes de considerar cualquier liberación controlada en entornos naturales.

3. Tipologías y Estrategias de Impulso Genético Enfocadas en la Eliminación

Las estrategias de **impulso de eliminación** se clasifican generalmente según el mecanismo biológico que induce el colapso poblacional. La estrategia de **esterilidad específica de sexo** es una de las más robustas. En esta modalidad, el impulso genético introduce una mutación que se expresa únicamente en el sexo crucial para la reproducción poblacional (generalmente la hembra en artrópodos), causando la incapacidad de producir óvulos viables o de alcanzar la madurez sexual. La propagación de este alelo de esterilidad reduce la capacidad reproductiva neta del conjunto de la población, llevando inevitablemente al colapso demográfico cuando el alelo alcanza una alta frecuencia.

Otra variante fundamental es el **impulso de inviabilidad o letalidad**. Esta estrategia implica la

introducción de un gen que es letal en estado homocigoto o que reduce drásticamente la aptitud de los individuos que lo portan. A medida que el impulso se extiende por la población, la proporción de individuos que heredan dos copias del alelo letal aumenta, resultando en una alta mortalidad en las etapas tempranas del desarrollo (huevos o larvas). Este método ejerce una presión selectiva extremadamente fuerte, lo que también aumenta el riesgo de que surjan mutaciones de resistencia que anulen la acción del impulso genético.

Para abordar las preocupaciones sobre la irreversibilidad y el confinamiento geográfico, se han diseñado estrategias de impulso de eliminación con elementos de **autolimitación**. Los sistemas "daisy-chain drives" o impulsos de cadena de margaritas, por ejemplo, buscan limitar la capacidad de propagación del impulso a lo largo de las generaciones. En estos sistemas, los componentes de impulso (como la Cas9) y el gen de eliminación están codificados en diferentes loci o cromosomas. Esto asegura que el impulso pierda fuerza y desaparezca gradualmente después de algunas generaciones, proporcionando una ventana de tiempo limitada para la eliminación o el control, y ofreciendo una herramienta más segura para pruebas de campo localizadas antes de utilizar un impulso de eliminación permanente.

4. Características Biológicas y Propagación Poblacional

La viabilidad operativa de un **impulso de eliminación** depende de un conjunto complejo de interacciones genéticas y ecológicas. El factor genético más crítico es la **eficiencia de homing** o tasa de transmisión del impulso. Para que la eliminación tenga éxito, el sistema CRISPR-Cas9 debe ser capaz de copiar el alelo de impulso en el cromosoma homólogo con una eficiencia cercana al 100%. Cualquier fallo significativo en esta tasa de copia permite que los alelos silvestres sobrevivan y se acumulen, diluyendo la presión de eliminación ejercida sobre la población.

Además de la eficiencia molecular, la **estructura poblacional** y el flujo genético son determinantes ecológicos clave. Los impulsos de eliminación son más efectivos en poblaciones bien mezcladas y continuas, donde los individuos modificados pueden interactuar y aparearse libremente con la población silvestre. En poblaciones altamente estructuradas o geográficamente aisladas, la propagación del impulso puede verse obstaculizada, quedando confinado a ciertos focos, lo que permite que las poblaciones no modificadas actúen como reservorios para la repoblación futura.

El desafío biológico más apremiante es la **evolución de la resistencia**. La fuerte presión selectiva ejercida por un impulso de eliminación favorece cualquier mutación que evite la acción de Cas9. Si una mutación espontánea en el sitio objetivo impide el corte, ese alelo resistente se propagará rápidamente, ya que confiere una ventaja de aptitud al individuo que lo porta (al no heredar el rasgo de eliminación). Para mitigar este riesgo, los científicos diseñan impulsos que utilizan

múltiples ARN guía dirigidos a regiones genómicas esenciales y altamente conservadas (sitios de baja mutación), haciendo que la evolución de la resistencia sea mucho más difícil y costosa para la aptitud del organismo.

5. Aplicaciones Potenciales en Control de Vectores y Plagas

La promesa del **impulso de eliminación** radica en su capacidad para ofrecer soluciones permanentes y auto-propagadoras a problemas de salud pública y conservación. En el ámbito de la salud global, la aplicación más urgente es el control de vectores. La erradicación local de mosquitos que transmiten malaria, dengue, o fiebre amarilla podría salvar millones de vidas y reducir la carga económica de estas enfermedades endémicas en regiones tropicales. La ventaja clave es que, a diferencia de los pesticidas o las vacunas, el impulso de eliminación proporciona una intervención de una sola vez que se sostiene a sí misma en el medio ambiente hasta que la población objetivo colapsa.

En el contexto de la conservación y la agricultura, los impulsos de eliminación son vistos como una herramienta poderosa contra las **especies invasoras** que causan daños ecológicos y económicos severos. Por ejemplo, la erradicación de roedores exóticos en ecosistemas insulares, donde han diezmando poblaciones de aves nativas, es un objetivo primario. Del mismo modo, el control de plagas agrícolas resistentes a múltiples clases de insecticidas químicos representa otra aplicación crucial, ofreciendo una alternativa biológica y específica que podría reducir la dependencia de agroquímicos a gran escala.

Sin embargo, la implementación de estas aplicaciones está intrínsecamente ligada a la gestión del riesgo. Los modelos predictivos y las pruebas de confinamiento son esenciales para asegurar que la eliminación sea específica para la especie objetivo y que el impulso no pueda saltar a especies no objetivo mediante hibridación. La esperanza es que, al ser un método altamente específico que solo afecta a la genética de una especie en particular, el control biológico mediado por impulsos de eliminación pueda ser más preciso y menos dañino para el ecosistema circundante que las herramientas de control no específicas, como las trampas o los venenos de amplio espectro.

6. Implicaciones Ecológicas y Éticas

La capacidad de diseñar la extinción de una especie mediante un **impulso de eliminación** conlleva implicaciones ecológicas y éticas de gran magnitud que requieren un debate público y científico exhaustivo. Desde el punto de vista ecológico, la preocupación central es el **riesgo de alteración ecosistémica**. La eliminación de una población, incluso si es una plaga, puede dejar un nicho ecológico vacío que podría ser ocupado por una especie competidora o incluso por una especie de vector diferente y potencialmente más peligrosa. Además, la desaparición de la especie objetivo podría afectar a los depredadores o parásitos que dependen de ella,

desencadenando efectos de cascada trófica impredecibles.

Éticamente, el debate se centra en la **moralidad de la extinción dirigida** y la **irreversibilidad**. La tecnología confiere a la humanidad el poder de dictar la existencia de otras especies, lo que plantea serias dudas sobre el principio de precaución. Dado que un impulso de eliminación, una vez liberado y establecido, es casi imposible de retirar del medio ambiente, la decisión de usarlo implica una responsabilidad intergeneracional. Los críticos argumentan que este tipo de intervención a gran escala constituye un experimento ecológico sin precedentes con consecuencias potencialmente catastróficas si el impulso evoluciona o se propaga de manera no intencionada.

Un área de preocupación ética y social adicional es el riesgo de **uso dual** y la **equidad global**. La tecnología del impulso genético es potencialmente adaptable para fines nocivos, lo que requiere estrictas medidas de bioseguridad y gobernanza internacional para prevenir su uso como arma biológica. Además, dado que la mayoría de los ensayos de campo se proponen en regiones empobrecidas o afectadas por enfermedades, es imperativo garantizar que las decisiones sobre la liberación se tomen con el pleno y genuino consentimiento de las comunidades locales y que los beneficios potenciales (como la erradicación de la malaria) se compartan de manera justa sin imponer riesgos desproporcionados.

7. Regulación, Gobernanza y Desafíos Críticos

La regulación de los **impulsos de eliminación** presenta desafíos únicos porque la tecnología trasciende las categorías tradicionales de productos biológicos. Los marcos regulatorios nacionales e internacionales, como el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad, luchan por abordar la naturaleza auto-propagadora y el potencial de cruce de fronteras de los organismos de impulso genético. Se requiere una gobernanza adaptativa que pueda evolucionar a la par con la ciencia y que aborde específicamente el riesgo de liberación transfronteriza y la irreversibilidad ecológica.

Uno de los mayores desafíos técnicos y regulatorios es la **demostración de la contención y la reversibilidad**. La comunidad científica ha desarrollado herramientas de seguridad, como los impulsos de inversión o los "antidrives", diseñados para detener o neutralizar un impulso de eliminación en caso de un resultado inesperado. Sin embargo, la eficacia de estos mecanismos de rescate en un entorno silvestre complejo y a gran escala sigue siendo una cuestión de intensa investigación y debate. Los reguladores exigen pruebas irrefutables de que el riesgo puede ser mitigado antes de autorizar cualquier liberación que implique un riesgo de eliminación permanente.

Finalmente, la aceptación pública y la legitimidad del proceso de toma de decisiones son cruciales para la implementación exitosa. La experiencia pasada con organismos genéticamente

modificados (OGM) subraya la necesidad de una transparencia total y de la participación inclusiva de múltiples partes interesadas, incluyendo bioéticos, ecólogos, sociólogos y las comunidades afectadas. El desarrollo de criterios de evaluación de riesgos rigurosos y socialmente aceptables es el paso más importante para que el **impulso de eliminación** pueda pasar de la fase de laboratorio a una herramienta de gestión ambiental y de salud pública responsable.

Lecturas Adicionales

[Impulso génico \(Wikipedia\)](#)

[CRISPR \(Wikipedia\)](#)

[The CRISPR-Cas9 gene drive and the future of species elimination \(Nature Article Summary\)](#)

ARABPSYCHOLOGY.COM