

Tecnologías reproductivas para conservar vida

Angélica Trujillo Hernández^{1*}

¹ Centro de Química, Instituto de Ciencias, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

* Dirección para correspondencia: angelica.trujillo@correo.buap.mx

La historia de la vida también es la historia de la pérdida. A lo largo de millones de años, los linajes han aparecido y desaparecido en un flujo continuo, pero la velocidad de pérdida actual es inusual: la actividad humana ha comprimido en décadas procesos que antes requerían miles de años. La fragmentación de hábitats, sobreexplotación, especies invasoras, contaminación y cambio climático son la causa de la reducción de poblaciones hasta el punto de no retorno (Sala *et al.*, 2000). Frente a esta situación, la conservación ha evolucionado desde enfoques centrados en áreas protegidas hacia estrategias integrales que incluyen genética de poblaciones, restauración ecológica, ciencia ciudadana y, más recientemente, la biotecnología reproductiva.

Las tecnologías de reproducción asistida (TRA) nacieron para tratar la infertilidad humana y optimizar la producción animal; sin embargo, su naturaleza modular—capaces de reemplazar o apoyar etapas específicas del proceso reproductivo—las vuelve herramientas adaptables para la fauna silvestre (Comizzoli y Holt, 2019). Hoy, laboratorios y zoológicos colaboran con áreas naturales protegidas, comunidades locales y biobancos para conservar no solo individuos, sino alelos, linajes y comportamientos que sustentan la resiliencia evolutiva. Este

artículo describe las principales TRA, presenta casos reales y actualizados, y reflexiona sobre el uso de la biotecnología para expandir el repertorio de acciones de conservación.

De la biología reproductiva a la biotecnología

La reproducción en la naturaleza es el resultado de la fisiología, el comportamiento y el ambiente. Muchas especies sincronizan su reproducción con la duración del día, las estaciones o las condiciones de humedad; otras dependen de señales químicas o del propio apareamiento para ovular, como en el caso de felinos y camélidos, cuyas hembras tienen ovulación inducida por cópula (Székely, 2023). Replicar estas condiciones bajo cuidado humano exige conocer la endocrinología de cada especie (perfil de estrógenos, progesterona, LH, FSH), la estacionalidad, la edad de la pubertad o de la primera conducta reproductiva y la anatomía del aparato reproductor (Székely, 2023). Con esa base, es posible diseñar y aplicar biotecnologías reproductivas para apoyar la conservación.

En especies con poblaciones remanentes pequeñas, la prioridad biológica es doble, maximizar la tasa de nacimientos y preservar la diversidad genética. Esto implica planificar cruces para evitar endogamia, rescatar alelos mediante el uso rotacional de machos y, cuando sea factible, incorporar material genético histórico desde biobancos. Los biobancos son lugares importantes de conservación de la biodiversidad; no solo almacenan espermatozoides u óvulos, también resguardan

líneas celulares vivas, tejidos y ADN. El biobanco del Frozen Zoo (San Diego Zoo Wildlife Alliance) reporta más de 11,500 líneas celulares de ~1,300 especies y subespecies, además de gametos de cientos de taxa (Mooney *et al.*, 2023).

Tecnologías de reproducción asistida aplicadas a fauna silvestre

Las TRA son un conjunto de herramientas que permite sustituir o asistir etapas clave del proceso reproductivo de animales, especialmente aquellos de difícil manejo en cautiverio. Un ejemplo es la inseminación artificial (IA), que consiste en introducir semen en el tracto reproductor de la hembra sin apareamiento directo (Mastromonaco, 2024).

En especies grandes como elefantes y rinocerontes se realiza con guía endoscópica o ecográfica. La IA reduce riesgos de agresión entre individuos, evita traslados largos y permite inseminar animales que jamás coincidirían en espacio o tiempo. Para colectar el semen puede utilizarse la electroeyaculación bajo anestesia ligera, el masaje prostático (en carnívoros) o la recuperación *post mortem*. Una vez obtenido, el semen debe ser evaluado, y puede ser criopreservado mediante distintos protocolos que mejoran la tolerancia del espermatozoide a la congelación. La criopreservación permite planificar apareamientos a largo plazo, compartir material genético entre instituciones y resguardar linajes únicos (Mastromonaco, 2024).

En el caso de las hembras, las TRA incluyen la estimulación ovárica y la recuperación de ovocitos, para lo cual es necesario el uso de compuestos químicos llamados gonadotropinas; la recuperación se realiza por aspiración transvaginal ecoguiada o por laparoscopia en especies pequeñas.

Los ovocitos se usan en técnicas de fertilización *in vitro* (FIV), en las que ovocitos y espermatozoides se incuban en medios que imitan el oviducto; otra técnica es la inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI), en la que un espermatozoide se inyecta directamente en el ovocito, lo que es útil cuando la motilidad o el número de espermatozoides es bajo. Tras 2 a 7 días de cultivo *in vitro*, los embriones se transfieren a hembras receptoras de la misma especie del embrión; sin embargo, cuando no hay hembras receptoras disponibles de la misma especie, se emplean hembras de especies estrechamente emparentadas (Mastromonaco, 2024).

Otra herramienta relevante en la conservación de especies es la clonación que, aunque ha permitido reintroducir diversidad genética histórica en algunas especies, sigue siendo experimental y marginal en términos poblacionales.

Por último, una técnica emergente y con muchas limitaciones es la generación de gametos a partir de células madre pluripotentes, lo que podría abrir nuevas posibilidades para la conservación de especies en peligro al permitir la obtención de espermatozoides y óvulos a partir de individuos no reproductivos o de líneas celulares históricas preservadas en biobancos. (Mastromonaco, 2024).

Casos emblemáticos y lecciones aprendidas

El uso de las TRA en la conservación de la fauna es aún puntual, costosa y altamente dependiente del contexto; a continuación, se describen algunos casos. Empezaremos con el hurón de patas negras (*Mustela nigripes*). Declarado extinto en la naturaleza en 1979, una pequeña población sobreviviente permitió iniciar un programa de conservación que incorporó la clonación como herramienta para recuperar diversidad genética perdida. A partir de células criopreservadas desde 1988 —de la hembra Willa— nació en 2020 Elizabeth Ann, el primer clon de la especie. En 2024 se anunciaron nuevos clones (Noreen y Antonia) y, en 2025, se reportaron camadas descendientes de clones. Esta diversidad adicional puede traducirse en mayor salud y resistencia a enfermedades, y complementa, sin sustituir, las estrategias clásicas de conservación: cría en cautiverio, reintroducciones, manejo del hábitat y control de patógenos (USFWS,2024).

Otros clones exitosos son Kurt (2020) y Ollie (2023), caballos de Przewalski (*Equus przewalskii*) obtenidos a partir de una línea celular criopreservada por más de 40 años en el Frozen Zoo del San Diego Zoo Wildlife Alliance. El objetivo de este procedimiento no fue multiplicar individuos, sino devolver variantes genéticas antiguas a una especie cuya población actual descende de muy pocos fundadores; por eso, estos potros —clonados con apoyo de Revive & Restore y ViaGen Pets & Equine— están destinados a integrarse a la reproducción del grupo de equinos en

el San Diego Zoo Safari Park, para que su descendencia eleve la diversidad y la resiliencia de la especie (Novak *et al.*, 2025).

En el panda gigante (*Ailuropoda melanoleuca*), las TRA han sido claves para aprovechar una ventana fértil brevísima; los equipos de trabajo monitorean picos hormonales en orina o sangre para identificar la ovulación y programar IA cuando el apareamiento natural falla, manteniendo además bancos de semen y protocolos de manejo conductual para estimular la receptividad de la pareja; tras la fecundación, la incubación y el manejo neonatal han elevado drásticamente la supervivencia de crías en cautiverio; estas técnicas, junto a la mejora del hábitat en China, han contribuido a que la especie pasara de “en peligro” a “vulnerable” en la Lista Roja de la UICN (Huang *et al.*, 2021).

El caso del rinoceronte blanco del norte (*Ceratotherium simum cottoni*) muestra cómo las TRA pueden articularse en un protocolo completo. Con solo dos hembras, Najin y Fatu, y tras la muerte del último macho, Sudán, en 2018, el consorcio BioRescue estableció un flujo de trabajo en cuatro etapas: (1) obtención de ovocitos de Fatu por aspiración ovárica; (2) fecundación por ICSI con semen criopreservado de machos ya fallecidos; (3) cultivo y criopreservación de los embriones viables; y (4) transferencia a hembras receptoras de la especie rinoceronte blanco del sur (*Ceratotherium simum simum*) aptas para gestar. En 2024–2025 se iniciaron transferencias de embriones de rinoceronte blanco del norte a hembras receptoras del sur. Hasta agosto de 2025 no se han reportado

nacimientos, pero la ruta técnica está operativa y en perfeccionamiento continuo (Korody y Hildebrandt, 2025).

Finalmente, en México, uno de los países megadiversos del planeta, también se han implementado biobancos y manejo reproductivo con objetivos de conservación. La Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, a través de la Dirección General de Zoológicos y Conservación de la Fauna Silvestre, alberga el Laboratorio de Genómica de Conservación y Biobanco de Tejidos y Germoplasma, ubicado en el Zoológico de Chapultepec “Alfonso L. Herrera”, que resguarda más de mil muestras de especies amenazadas nativas de México como el borrego cimarrón, el lobo mexicano, el jaguar y de otras partes del mundo como el panda gigante, útiles para manejo, reproducción e investigación.

Desafíos y limitaciones

Trabajar con TRA en conservación suena prometedor, pero tiene su complejidad. Cada especie tiene su ritmo biológico, y lo que funciona en grupos ya conocidos (ganado, roedores de laboratorio) puede fallar en felinos, anfibios u otros integrantes de la fauna silvestre. Además, mover, anestesiarse o manipular a un animal silvestre puede alterarlo, y por ende, reducir el estrés al que se somete a la fauna silvestre mediante el uso de recintos amigables, buen trato a los especímenes y equipos silenciosos es parte del protocolo para garantizar el éxito reproductivo. Queda una pregunta ética en el aire: ¿hasta dónde intervenir con clonación, inseminación

artificial o transferencias de embriones entre especies? Los científicos, autoridades y comunidades deberán reflexionar al respecto para garantizar el bienestar ambiental. Las TRA son un apoyo a la conservación, no una licencia para descuidar el hábitat. Sin territorios seguros y sin frenar la caza furtiva o la deforestación, un nacimiento logrado en laboratorio difícilmente se traducirá en una población autosustentable.

Conclusión: conservar vida es conservar posibilidades

Las tecnologías reproductivas nos recuerdan que la conservación no es solo proteger espacios, sino también resguardar información biológica: genomas, rasgos, conductas. Cuando se aplican con base científica, criterios éticos claros y coordinación internacional, las TRA amplían el horizonte de opciones para especies en riesgo crítico. Pero la biotecnología no debe convertirse en coartada para aplazar decisiones difíciles sobre territorio, consumo y justicia ambiental. Un embrión generado en laboratorio vale en la medida en que puede crecer en un mundo con agua limpia, alimento y espacio. Por eso, el uso responsable de TRA va de la mano con la restauración de hábitats, combate a la caza furtiva, corredores biológicos y comunidades que conviven con la fauna. La biología de la reproducción aporta instrumentos poderosos; la ecología, el contexto donde esos instrumentos cobran sentido. Entre ambas disciplinas, y con ciudadanía informada, la conservación puede pasar de la resistencia a la resiliencia.

Referencias

Comizzoli P and Holt WV (2019). Breakthroughs and new horizons in reproductive biology of rare and endangered animal species. *Biology of Reproduction* 101(3):514–525. DOI: <https://doi.org/10.1093/biolre/ioz031>.

Huang G, Ping X, Xu W *et al.* (2021). Wildlife conservation and management in China: achievements, challenges and perspectives. *National Science Review* 8(7):nwab042. DOI: <https://doi.org/10.1093/nsr/nwab042>.

Korody ML and Hildebrandt TB (2025). Progress Toward Genetic Rescue of the Northern White Rhinoceros (*Ceratotherium simum cottoni*). *Annual Review of Animal Biosciences* 13(1):483–505. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-111523-102158>.

Mastromonaco G (2024). 40 'wild' years: the current reality and future potential of assisted reproductive technologies in wildlife species. *Animal Reproduction* 21(3):e20240049. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-3143-AR2024-0049>.

Martin-Wintle MS, Kersey DC, Wintle NJP *et al.* (2019). Comprehensive breeding techniques for the giant panda. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 1200:275–308. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-23633-5_10.

Mooney A, Ryder OA, Houck ML *et al.* (2023). Maximizing the potential for living cell banks to contribute to global conservation priorities. *Zoo Biology* 42(6):697–708. DOI: <https://doi.org/10.1002/zoo.21787>.

Novak BJ, Ryder OA, Houck ML *et al.* (2025). Endangered Przewalski's Horse, *Equus przewalskii*, cloned from historically cryopreserved cells. *Animals* 15(5):613. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani15050613>.

Sala OE, Chapin FS 3rd, Armesto JJ *et al.* (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* (New York, N.Y.) 287(5459):1770–1774. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.287.5459.1770>.

Székely T (2023). Evolution of reproductive strategies: sex roles, sex ratios and phylogenies. *Biologia Futura* 74(4):351–357. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42977-023-00177-0>.

USFWS Advancements for Black-footed Ferret Conservation Continue with New Offspring from Cloned Ferret. Press Release 2024. Revisado el 1 de noviembre de 2024. Disponible en línea: <https://www.fws.gov/press-release/2024-11/advancements-black-footed-ferret-conservation-continue-new-offspring-cloned>.

Manuscrito aceptado