

# El deber de reparar

## Raúl Montañez

Universidad de Málaga

DESDE HACE MÁS DE 3.600 MILLONES DE AÑOS, LA VIDA EN LA TIERRA ha pervivido a innumerables desafíos. Desde las extinciones masivas del Pérmico-Triásico que arrasaron con el 95% de las especies hasta el cataclismo del Cretácico-Paleógeno que marcó el fin de los dinosaurios, el planeta ha sido testigo de transformaciones radicales en su biosfera. En cada una de estas extinciones, las causas principales han sido fenómenos naturales, como erupciones volcánicas, impactos de asteroides o cambios drásticos en los ciclos biogeoquímicos. Hoy, somos testigos de una nueva crisis de biodiversidad, pero con una diferencia crucial: el agente desencadenante no es una fuerza ciega de la naturaleza, sino la acción consciente de una especie, la nuestra.

Los humanos, agentes morales y racionales, alteramos el planeta de manera tan profunda que hemos desestabilizado los sistemas que sustentan la vida. La sobreexplotación de recursos, la contaminación descontrolada, la destrucción de hábitats y la alteración del clima han llevado a la biosfera a un punto crítico. Esta sexta extinción masiva se manifiesta en la desaparición alarmante de especies, a un ritmo muy superior a la tasa natural de extinción. Se estima que el 40% de las plantas e insectos están en peligro de extinción, y según el índice de vida planetario, hemos perdido el 73% de la vida salvaje. Esta pérdida no es solo una tragedia numérica; es una erosión de la funcionalidad de los ecosistemas. Cada especie, cada interacción, cada función ecológica ayuda a tejer la red de procesos que estabilizan la funcionalidad de nuestro planeta. La desaparición de polinizadores, por ejemplo, amenaza la producción de alimentos; la pérdida de grandes depredadores desequilibra las cadenas tróficas; la pérdida de diversidad genética reduce la capacidad de adaptación de las especies y los ecosistemas a los cambios ambientales. Esta pérdida de funcionalidad debilita la resiliencia de los ecosistemas, haciéndolos más vulnerables a los impactos de una población humana hiperconsumista y en constante crecimiento.

La transformación ambiental que hemos provocado se distingue por su magnitud y celeridad sin precedentes en la historia de la humanidad (Wallace-Wells, 2019). De los nueve límites planetarios que regulan la

estabilidad del sistema terrestre y dentro de los cuales la humanidad puede operar de forma segura, hemos sobrepasado seis y estamos muy cerca de sobrepasar el séptimo (Richardson et al., 2023). Esta transgresión pone en peligro la capacidad del planeta para sostener al conjunto de sociedades humanas que conocemos. Esta transformación altera los mecanismos de regulación planetaria, exacerbando el deterioro ecológico en una espiral de consecuencias funestas. El deshielo del Ártico, causado por el incremento de temperatura global, reduce la capacidad reflectante del planeta, intensificando la absorción de radiación solar y acelerando el calentamiento. Este calor derrite también el permafrost liberando metano, un potente gas de efecto invernadero, que contribuye a un aumento aún mayor de la temperatura. Los océanos, otrora aliados en la absorción de CO<sub>2</sub>, ven comprometida su capacidad de mitigar el cambio climático a medida que sus aguas se acidifican, calientan y dilatan, llegando incluso a convertirse en emisores netos de carbono. Estos procesos interconectados, al retroalimentarse, desencadenan una serie de autoamplificaciones que amenazan con desbordar nuestra capacidad de respuesta y la de muchas especies, abocándolas a una lucha por la supervivencia en un entorno hostil y cambiante. En este escenario, algunas logran adaptarse a duras penas, pero muchas otras se enfrentan a tasas de extinción sin precedentes, incapaces de evolucionar con la suficiente rapidez/celeridad para sobrevivir en las nuevas condiciones. La pérdida de biodiversidad, uno de los límites más críticos transgredidos, desestabiliza los ecosistemas y amenaza la continuidad de las redes tróficas, acelerando el colapso de la intrincada trama de la vida.

Pero más allá del peligro que esto supone para la humanidad, esta crisis es también un problema moral de gran envergadura. Los humanos, como observadores privilegiados de la naturaleza, reconocemos en ella un valor intrínseco que trasciende su utilidad. La naturaleza, en todas sus formas, posee un valor inherente, simplemente por existir. Este valor, que reside en la singularidad e irremplazabilidad de cada especie, en la complejidad y belleza de los ecosistemas, y en la interconexión de todas las formas de vida, constituye la riqueza fundamental del planeta, esencial para su equilibrio, resiliencia y belleza. La diversidad biológica no es solo un conjunto de recursos a nuestra disposición, merecen respeto y protección por propio derecho. Al aceptar su menoscabo, aceptamos una relación de maltrato y erosionamos con ello nuestra propia moral. Nuestra participación activa en esta merma funcional debería desasosegarnos profundamente, pues cada extinción, cada destrucción de un ecosistema, representa una pérdida irreparable de este valor intrínseco y una disminución de la riqueza moral del planeta que nos empobrece a todos (Booth & Mounsey, 2021; Leopold, 2019).

Ante esta crisis, surge una pregunta ineludible: ¿tenemos el deber de reparar los daños que hemos causado, incluso si ello implica intervenir con aún mayor profundidad en los ecosistemas y organismos que hemos afectado? Si hemos sido los agentes causantes de esta nueva ola de extinciones, ¿no estamos obligados a tratar de revertir o mitigar sus efectos?

Este *deber de reparar* emerge de nuestra percepción de justicia para con las especies y ecosistemas que hemos empujado al borde de la desaparición, y las futuras generaciones humanas que enfrentarán un planeta empobrecido y en desequilibrio. Sabemos que somos responsables de esta profunda

alteración del planeta que daña a innumerables especies y ecosistemas que no tienen voz para reclamar justicia. Esta deuda ética se proyecta tanto hacia el presente, en nuestra responsabilidad hacia las especies y ecosistemas vulnerables, como hacia el futuro, en nuestra deuda con las generaciones venideras que heredarán un planeta marcado por nuestras acciones. En este contexto de incertidumbre y desafíos, la ética planetaria (Küng, 1998) nos invita a reflexionar sobre nuestra responsabilidad hacia el planeta y las generaciones futuras. Küng propone una ética global que trasciende las diferencias culturales y religiosas, basada en valores universales como la justicia, la paz y la sostenibilidad. Esta ética planetaria encuentra un eco en la Carta de la Tierra, un documento que establece principios fundamentales para construir un futuro justo, sostenible y pacífico para la humanidad y todas las formas de vida.

Sin embargo, al analizar las extinciones pasadas, vemos que los vacíos ecológicos generados han facilitado radiaciones adaptativas, incrementando la diversidad de especies que hoy conocemos. La vida siempre encuentra un camino para seguir adelante. Entonces, ¿qué es realmente lo que debemos reparar? ¿Acaso no es este deber de reparar una manifestación más de nuestro antropocentrismo y egoísmo? Tenemos miedo a desaparecer como especie. Pero no nos preocupa ver desaparecer a otras, tal como hemos acreditado innumerables veces. ¿No será que este imperativo de reparar responde más a nuestro instinto de supervivencia que a una genuina preocupación por el valor intrínseco de la naturaleza? Después de todo, la naturaleza, con o sin nosotros, seguirá su curso. Los ecosistemas se reestructurarán, las especies se adaptarán, y la vida continuará su despliegue en el planeta, aunque la configuración resultante pueda ser muy diferente a la que conocemos.

En realidad, lo que debemos reparar es nuestra propia relación con la naturaleza. No se trata de salvarla, sino de transformar radicalmente nuestra forma de consumir, producir y relacionarnos con el mundo natural. Este deber de reparar es el imperativo ético a una especie consciente que nos invita a cuestionar nuestro papel en el planeta y construir un futuro más justo y sostenible para todas las formas de vida, incluyendo la nuestra. Para lograrlo, se nos plantea una dicotomía fundamental: la intervención activa en los ecosistemas dañados o el aprendizaje para seguir sus ritmos.

38

La biología sintética nos ofrece herramientas poderosas, con un potencial restaurador capaz de reparar daños ecológicos de forma expedita. Pero, a la vez, encierra el riesgo de un hiperintervencionismo aún más degradante, capaz de exacerbar aún más la injusticia social y de erosionar los procesos evolutivos naturales. La alternativa ontológica nos insta a seguir los ritmos de la naturaleza. Esta perspectiva requiere de la correcta alfabetización ecológica y de la adopción de economías del decrecimiento, orientadas a reducir nuestra huella material, y a practicar una ética de la contención que distinga entre lo que podemos hacer y lo que realmente debemos hacer. Sin embargo, este enfoque no está exento de desafíos. Las sociedades desarrolladas, adictas al crecimiento, difícilmente aceptarían las renunciaciones que implica. Aquí yace el nudo gordiano: necesitamos biotecnologías puente que demoren un colapso inminente y nos otorguen el tiempo suficiente para desmontar los cimientos del sistema hiperconsumista.

**«La naturaleza, en todas sus formas, posee un valor inherente, simplemente por existir. Este valor, que reside en la singularidad e irremplazabilidad de cada especie, en la complejidad y belleza de los ecosistemas, y en la interconexión de todas las formas de vida, constituye la riqueza fundamental del planeta, esencial para su equilibrio, resiliencia y belleza».**

Nuestro propósito no ha de ser dominar la naturaleza, Génesis 1:26, sino reaprender a habitar el planeta como participantes conscientes y humildes. Para lograrlo, necesitamos un marco ético sólido que priorice la no maleficencia ecológica y la justicia intergeneracional, minimizando daños y asegurando un legado de sistemas ecológicos funcionales. Este marco debe complementarse con mecanismos de gobernanza sólidos, instrumentos jurídicos vinculantes, políticas basadas en evidencia y sistemas de monitoreo transdisciplinarios con participación ciudadana.

Al enfrentar la necesidad de la correcta gestión de los ecosistemas nos enfrentamos a dilemas éticos fundamentales, donde chocan dos marcos filosóficos esenciales: el consecuencialismo y la deontología. Desde una perspectiva consecuencialista, la respuesta parece clara: si nuestras acciones han causado un daño significativo al planeta y, como consecuencia de ello, nuestro modo de vida peligra, tenemos la responsabilidad de hacer todo lo posible para mitigar sus efectos, incluso si eso implica asumir riesgos. Lo importante son las consecuencias de nuestras acciones, y si una intervención activa en los ecosistemas puede ayudarnos a restaurar la salud del planeta y asegurar un futuro mejor para la humanidad, entonces estamos moralmente impelidos a hacerlo. Sin embargo, desde una perspectiva deontológica, la cuestión es más compleja, ya que tendríamos ciertos deberes morales que son absolutos e incondicionales, independientemente de sus consecuencias. Por ejemplo, el deber de respetar la integridad de la naturaleza.

Esta tensión se hace particularmente evidente en el debate sobre las especies invasoras. El enfoque consecuencialista, que prioriza los resultados sobre los medios, justifica a menudo el uso de métodos agresivos (venenos, talas, cacerías) para proteger la biodiversidad nativa, argumentando que el fin (preservar el ecosistema) justifica los medios (eliminar la especie invasora). Sin embargo, la deontología nos interpela sobre si tales acciones no violentan la integridad y las dinámicas propias de la naturaleza, así como el derecho intrínseco de las especies a existir, independientemente de su origen o impacto. La realidad, no obstante, es más compleja y rehúye de maniqueísmos simplistas. Autores como Fred Pearce (Pearce, 2015), Ken Thompson (Thompson, 2015), Emma Marris (Marris, 2011) o Tao Orion (Orion, 2015), nos muestran cómo especies consideradas invasoras pueden desempeñar roles ecológicos importantes, como la polinización o el control de la erosión, y que su eliminación, al ignorar las intrincadas relaciones ecológicas y los procesos de adaptación de los ecosistemas, puede acarrear consecuencias negativas inesperadas. El impacto de una especie invasora no puede ser automáticamente asumido como negativo, sino que dependerá, en gran medida, del contexto específico en el que se introduce. En consecuencia, ni el consecuencialismo ni la deontología deben prevalecer sin el respaldo de la razón argumentada y las evidencias científicas. Es crucial ser conscientes de que nuestros múltiples y variados sesgos cognitivos, al ser aplicados al principio de responsabilidad, pueden conducirnos a futuros catastróficos. Tal como propone Emma Marris, la aplicación de un prejuicio deontológico sobre el ideal de un estado prístino podría, paradójicamente, violentar ese propio enfoque deontológico, al olvidar que la naturaleza está en constante cambio y que las especies, incluidas las invasoras, pueden desempeñar roles valiosos en los nuevos ecosistemas. La lucha contra las especies invasoras ejemplifica cómo a menudo aplicamos

un enfoque simplista y reduccionista, priorizando la eliminación de la especie sobre la comprensión de su rol en el ecosistema y el contexto específico.

Como en la obra de Goya, el sueño de la razón produce monstruos en la gestión de ecosistemas. Cuando nos enfrentamos a lo desconocido, como los estados futuros de los ecosistemas, es fácil dejarse llevar por el miedo y la aversión a lo diferente. Sin embargo, la falta de reflexión crítica y la aplicación de prejuicios pueden llevarnos a tomar decisiones desastrosas. Al igual que los monstruos que emergen del sueño de la razón, nuestra visión de los estados futuros de los ecosistemas y de las especies invasoras puede estar distorsionada por el miedo, la falta de conocimiento y la proyección de utopías. El conservacionismo persigue un estado prístino idealizado, que quizás nunca existió realmente, en lugar de aceptar que los ecosistemas están en constante cambio y adaptación. El durmiente de Goya, puede soñar con un futuro idealizado, pero la realidad puede ser muy diferente si no tomamos decisiones informadas y responsables.

Esta resistencia al cambio, a todo aquello que no nos resulta familiar, junto con las dificultades para aplicar, con garantías, los principios de responsabilidad futura, son un importante obstáculo para la bioingeniería. Actualmente, nuestro conocimiento sobre las dinámicas ecológicas y los impresionantes avances en biotecnología no abren la puerta a la implementación de soluciones audaces, como la creación de ecosistemas sintéticos o la desextinción de especies (Church & Regis, 2014; Redford & Adams, 2021). En estos ecosistemas, las funciones ecológicas extintas podrían reemplazarse con especies foráneas o, más drásticamente aún, podrían recuperarse mediante organismos genéticamente modificados (OMGs) creados específicamente para cubrir esa función.

Como hemos anticipado, estas intervenciones no están exentas de riesgos. Al intentar arreglar la naturaleza, podríamos estar causando nuevos problemas, incluso peores que los que intentamos solucionar. La ingeniería de la naturaleza, tiene el potencial de corregir nuestros errores, pero también plantea el riesgo derivado de intervenir en sistemas que no comprendemos completamente. La analogía con los viajes en el tiempo en la ciencia ficción resulta pertinente en este contexto. Obras como «La máquina del tiempo» de H.G. Wells o «El fin de la eternidad» de Isaac Asimov nos muestran cómo la alteración del pasado puede tener consecuencias imprevistas en el futuro. De manera similar, nuestras acciones en el presente pueden desencadenar cambios en los ecosistemas que se manifiesten a largo plazo, afectando a las generaciones venideras. Al igual que los crononautas, debemos ser conscientes de que nuestras decisiones pueden tener impactos significativos en el futuro y asumir la responsabilidad de considerar estas consecuencias a largo plazo (Jonas, 2014).

Afortunadamente, los notables avances en ecología teórica nos permiten diseñar mejor nuestras intervenciones y evaluar las potenciales consecuencias de nuestras decisiones. En este contexto de conocimiento, la bioingeniería y la creación de ecosistemas sintéticos ofrecen herramientas prometedoras para la restauración ambiental. Por ejemplo, en el ámbito de la biología sintética se han diseñado consorcios microbianos que aceleran la degradación de cianuro en suelos contaminados (Roldán et al., 2021), permitiendo una recuperación más rápida de ecosistemas afectados.

**«Esta resistencia al cambio,  
a todo aquello que no nos  
resulta familiar, junto con las  
dificultades para aplicar, con  
garantías, los principios de  
responsabilidad futura, son un  
importante obstáculo para  
la bioingeniería».**

Asimismo, se están desarrollando enfoques innovadores para la restauración de corales, en los que se modifican los microbiomas asociados para conferirles mayor resistencia al calentamiento y a la acidificación oceánica, desafíos críticos en la era del cambio climático (Cecchini et al., 2024; van Oppen et al., 2015). Estas y otras estrategias basadas en la naturaleza ofrecen un abanico de posibilidades no solo para reparar los ecosistemas degradados, sino también para construir sistemas más resilientes y adaptativos, capaces de enfrentar los desafíos ambientales actuales y futuros (Seddon, 2022). En ingeniería ecológica, destacan proyectos de restauración de humedales y costas, en los que se integran soluciones de bioingeniería—como la implantación de barreras vegetales y la reconfiguración de infraestructuras naturales—que mejoran la calidad del agua, capturan carbono y previenen la erosión. Además, se están explorando estrategias de renaturalización asistida mediante bioingeniería, que contemplan la introducción de especies clave (Lundgren et al., 2020) o la recreación de consorcios microbianos para recuperar funciones ecológicas perdidas (Egoh et al., 2021; Graham & Knelman, 2023).

A menudo, los proyectos de renaturalización se han centrado en la reintroducción de especies nativas y en la erradicación de las no nativas, con el objetivo de recuperar un estado prístino idealizado. Sin embargo, la evidencia de la rápida adaptación de las especies y emergencia de ecosistemas en entornos urbanos nos obliga a repensar nuestra concepción de la naturaleza. Las ciudades se han convertido en laboratorios evolutivos, donde las especies se transforman para enfrentar presiones inéditas, demostrando que la naturaleza no es una entidad estática, sino un sistema dinámico en perpetuo cambio (Schilthuizen, 2018; Thompson, 2015). En las ciudades, las palomas han desarrollado un plumaje que les ayudan a detoxificar metales pesados; los mirlos han modificado su canto, elevando su frecuencia para imponerse al ruido ambiental; las lagartijas de roca (*Podarcis muralis*) han modificado sus almohadillas como consecuencia de la necesidad de adherencia a las nuevas superficies urbanas; halcónes peregrino, primillas y golondrinas, que anidan en edificios y puentes, han establecido una nueva red trófica. No es raro ver gaviotas alimentándose de basura o atacando a palomas. En los Jardines urbanos, donde especies autóctonas y exóticas coexisten, los insectos han establecido complejas redes de polinización. Esta realidad nos debería invitar a replantearnos lo que consideramos un ecosistema sano y a luchar contra nuestros propios sesgos cognitivos. La isla de Ascensión, un ecosistema completamente sintético, o Chernóbil, un ecosistema indiscutiblemente novel, son ecosistemas tan legítimos como los son la selva de Costa Rica, Yellowstone o el Serengeti. Un ecosistema es aquel que ha permanecido intacto ante la intervención humana, pero también aquel capaz de establecer una red funcional y productiva de funciones ecológicas sin importar su composición de especies (Deng et al., 2024).

Si aceptamos que un ecosistema novel es un ecosistema que ha surgido como resultado de la actividad humana o de cambios ambientales capaces de perturbar el ecosistema que existía anteriormente en ese lugar, hemos de aceptar que ya no quedan ecosistemas prístinos (Marris, 2011). En consecuencia, los esfuerzos de renaturalización no deberían aspirar a recuperar un estado prístino inalcanzable, sino a restaurar la funcionalidad de los ecosistemas. La adaptación de especies no nativas en entornos urbanos nos invita a replantear nuestra visión de los ecosistemas y el papel que las

especies invasoras o sintéticas puedan desempeñar en ellos. Tal vez, lejos de ser intrínsecamente perjudiciales, algunas de estas especies puedan incluso contribuir a restaurar funciones ecológicas vitales en un mundo transformado en gran medida por la mano del hombre. La clave, una vez más, reside en estar dispuestos a comprender la capacidad de adaptación de especies y ecosistemas y en fomentar una coexistencia pacífica entre humanos y naturaleza en un mundo en constante transformación

En este contexto, donde la definición de lo natural se torna escurridiza y la urgencia nos impulsa hacia una aproximación consecuencialista, la biología sintética ofrece un abanico de posibilidades que aplicar a la conservación de la biodiversidad y a la restauración ecológica (Anton, 2023; Redford & Adams, 2021; Solé et al., 2024). Los científicos de hoy están generando organismos con nuevas funciones ecológicas y modulando las dinámicas evolutivas con el propósito de crear soluciones innovadoras potencialmente capaces de demorar el colapso. Los ejemplos son abrumadores. Desde ecosistemas sintéticos de microorganismos modificados genéticamente capaces de degradar contaminantes y restaurar suelos contaminados o degradados, hasta el uso de impulsores genéticos para acelerar la propagación de rasgos específicos en una población. Estos «biorremediadores» podrían ser utilizados para limpiar derrames de petróleo, eliminar metales pesados de suelos agrícolas o incluso descomponer plásticos en el océano. En la reconstrucción de ecosistemas, la creación de plantas resistentes a desecación, salinidad o enfermedades podrían ser utilizadas para reforestar áreas en condiciones ambientales desfavorables o devastadas por plagas. Un ejemplo de esto son los castaños americanos modificados genéticamente para resistir el hongo que casi los exterminó a principios del siglo XX. Estos árboles podrían ser reintroducidos en bosques para restaurar ecosistemas degradados. En poblaciones de ranas, en peligro de extinción como consecuencia de la expansión del hongo *Batrachochytrium dendrobatidis*, se están utilizando impulsores genéticos para introducir en sus poblaciones los caracteres que le permitan resistir las infecciones de este hongo. Otro ejemplo algo más controvertido es la desextinción del mamut lanudo como estrategia para recuperar los ecosistemas árticos y ayudar a compactar el permafrost. Esta xenobiología podría emplearse también con un propósito de justicia social que trascienda la biorremediación, como ocurrió con el arroz dorado. La biología sintética es una herramienta valiosa para proteger cultivos de patógenos, cultivar en condiciones extremas o hacer más nutritivos los alimentos, garantizando así la seguridad alimentaria en un mundo con un clima cambiante. Pero además, también es una potente herramienta contra las enfermedades, como lo demuestran la generación de mosquitos modificados con los que es posible combatir enfermedades como el dengue y la malaria (O'Neill, 2024). Por último, la biología sintética también podría ser utilizada para crear «biofactorías» capaces de impulsar una bioeconomía que permitiese la recircularización de residuos para la producción de bioplásticos o biocombustibles y la reducción de nuestro impacto en los ecosistemas (Shirvani, 2024). Sin embargo, como señala Sandua (Sandua, 2024), estas aplicaciones deben ser cuidadosamente evaluadas desde una perspectiva ética, considerando no sólo los beneficios potenciales, sino también los riesgos y las implicaciones a largo plazo.

A pesar de su innegable potencial, la biología sintética plantea riesgos y desafíos conceptuales y éticos que no podemos eludir. Sin embargo, oponerse ciegamente a las estrategias xenobiológicas podría ser una manifestación más de nuestros prejuicios antropocéntricos. Debemos mantenernos abiertos a explorar las posibilidades que nos ofrece esta nueva herramienta, sin caer en ingenuidades ni en optimismos desmedidos. Debemos establecer mecanismos de regulación y supervisión sólidos, pero para lograrlo, es esencial que reconozcamos el potencial transformador de la biología sintética y desarrollemos programas de investigación rigurosos que nos permitan comprender estos mecanismos y transformarlos en modelos predictivos robustos. Es imperativo establecer mecanismos de regulación y supervisión basados en datos sólidos, que garanticen una aplicación responsable y ética. Solo así podremos garantizar que esta tecnología se utilice de manera responsable y ética, en beneficio de la humanidad y del planeta. Hemos de entender esta tarea como un acto de justicia ambiental y un compromiso con la supervivencia de la vida en el planeta. Al evaluar cada intervención, debemos ponderar sus impactos ecológicos, sociales y éticos, siempre guiados por principios como la no maleficencia, la justicia y la autonomía. El deber de reparar es una deuda con nuestro pasado y una promesa al futuro, un llamado a no dejar que el colapso de la vida se convierta en la única respuesta. La ingeniería de la naturaleza puede, sin duda, cometer errores, pero el riesgo de la inacción es aún mayor.

La biología sintética nos ofrece la posibilidad de redefinir nuestra relación con la Tierra en un nuevo equilibrio entre conservación y rediseño. Solo el diálogo abierto entre científicos, éticos, conservacionistas y la sociedad en general podrá forjar un camino que, sin sacrificar nuestra integridad ecológica, nos permita transformar el desastre en esperanza. Hoy, más que nunca, el verdadero desafío reside en actuar con responsabilidad y visión de futuro. La inacción no es una opción. Sin embargo, el egoísmo, la miopía y la resistencia al cambio obstaculizan nuestra capacidad de respuesta. Preferimos aferrarnos a un arquetipo de naturaleza ya inexistente en lugar de enfrentar este nuevo desafío con valentía y determinación. Esta inercia dificulta la implementación de soluciones audaces. Necesitamos abrazar el cambio como condición para la conservación. Al igual que en la eterna carrera de la Reina Roja, en un planeta al borde del colapso de sus ecosistemas, debemos correr. Correr incesantemente para permanecer en el mismo sitio, para mantener el equilibrio precario que hemos construido. Pero no podemos correr sin rumbo, sin una visión clara de hacia dónde queremos ir. En esta desesperada carrera, cada paso, cada cambio, cada decisión es crucial para asegurar no solo nuestra supervivencia, sino también la del planeta que habitamos. No estamos condenados a repetir el destino de la Reina Roja. Podemos elegir cambiar el rumbo de nuestra carrera, construir un futuro en el que la humanidad y la naturaleza coexistan en armonía, un futuro en el que el esfuerzo constante no sea solo para mantenernos en el mismo sitio, sino para avanzar hacia un horizonte de esperanza y sostenibilidad.\_\_\_\_

## Bibliografía

Anton, T. (2023). *Programmable Planet: The Synthetic Biology Revolution*. Columbia University Press.

Booth, S., & Mounsey, C. (2021). *Reconsidering Extinction in Terms of the History of Global Bioethics*. Routledge.

Cecchini, P., Nitta, T., Sena, E., & Du, Z.-Y. (2024). Saving coral reefs: significance and biotechnological approaches for coral conservation. *Advanced Biotechnology*, 2(4), 1–27.

Church, G. M., & Regis, E. (2014). *Regenesis: How Synthetic Biology Will Reinvent Nature and Ourselves*. Hachette UK.

Deng, J., Cordero, O. X., Fukami, T., Levin, S. A., Pringle, R. M., Solé, R., & Saavedra, S. (2024). The development of ecological systems along paths of least resistance. *Current Biology : CB*, 34(20), 4813–4823.e14.

Egoh, B. N., Nyelele, C., Holl, K. D., Bullock, J. M., Carver, S., & Sandom, C. J. (2021). Rewilding and restoring nature in a changing world. *PloS One*, 16(7), e0254249.

Graham, E. B., & Knelman, J. E. (2023). Implications of Soil Microbial Community Assembly for Ecosystem Restoration: Patterns, Process, and Potential. *Microbial Ecology*, 85(3), 809–819.

Jonas, H. (2014). *El principio de responsabilidad: Ensayo de una ética para la civilización tecnológica*. Herder Editorial.

Küng, H. (1998). *A Global Ethic for Global Politics and Economics*. Oxford University Press, USA.

Leopold, A. (2019). *Una ética de la Tierra*. LOS LIBROS DE LA CATARATA.

Lundgren, E. J., Ramp, D., Rowan, J., Middleton, O., Schowanek, S. D., Sanisidro, O., Carroll, S. P., Davis, M., Sandom, C. J., Svenning, J.-C., & Wallach, A. D. (2020). Introduced herbivores restore Late Pleistocene ecological functions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(14), 7871–7878.

Marris, E. (2011). *Rambunctious Garden: Saving Nature in a Post-Wild World*. Bloomsbury Publishing USA.

O'Neill, S. (2024, August 8). ¿Estamos entrando en una nueva era de control de mosquitos? National Geographic. <https://www.nationalgeographic.es/animales/2024/08/control-mosquitos-tecnicas-metodos-novedosos-genetica-pesticidas>

Orion, T. (2015). *Beyond the War on Invasive Species: A Permaculture Approach to Ecosystem Restoration*. Chelsea Green Publishing.

Pearce, F. (2015). *The New Wild: Why Invasive Species Will Be Nature's Salvation*. Beacon Press.

Redford, K. H., & Adams, W. M. (2021). *Strange Natures: Conservation in the Era of Synthetic Biology*. Yale University Press.

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., ... Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, 9(37), eadh2458.

Roldán, M. D., Olaya-Abril, A., Sáez, L. P., Cabello, P., Luque-Almagro, V. M., & Moreno-Vivián, C. (2021). Bioremediation of cyanide-containing wastes: The potential of systems and synthetic biology for cleaning up the toxic leftovers from mining. *EMBO Reports*, 22(11), e53720.

Sandua, D. (2024). *SYNTHETIC BIOLOGY: LABORATORY LIFE CREATION AND ETHICAL IMPLICATIONS*. David Sandua.

Schilthuizen, M. (2018). *Darwin Comes to Town*. Hachette UK.

Seddon, N. (2022). Harnessing the potential of nature-based solutions for mitigating and adapting to climate change. *Science (New York, N.Y.)*, 376(6600), 1410–1416.

Shirvani, T. (2024). The role of bioengineering in building a bioeconomy. *Nature Reviews Bioengineering*, 2(11), 908–910.

Solé, R., Maull, V., Amor, D. R., Mauri, J. P., & Núria, C.-P. (2024). Synthetic Ecosystems: From the Test Tube to the Biosphere. *ACS Synthetic Biology*. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.4c00384>

Thompson, K. (2015). *Where Do Camels Belong?: The Story and Science of Invasive Species*.

van Oppen, M. J. H., Oliver, J. K., Putnam, H. M., & Gates, R. D. (2015). Building coral reef resilience through assisted evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(8), 2307–2313.

Wallace-Wells, D. (2019). *The Uninhabitable Earth: Life After Warming*. Crown.