

## ¿La IA usada en biología de la conservación es una buena estrategia de justicia ambiental?\*

### Is AI used in conservation biology a good environmental justice strategy?

CRISTIAN MOYANO FERNÁNDEZ\*\*

**Resumen.** La biología de la conservación se ha sumado al uso de la inteligencia artificial para optimizar su trabajo. La eficiencia con que esta procesa los datos ayuda a identificar especies salvajes, reparar los impactos antropogénicos e intervenir en ecosistemas, ofreciendo resultados supuestamente buenos para la conservación. Así, la inteligencia artificial puede proponerse como una aliada de la justicia ambiental. Pero discutiré esta tesis, argumentando que como la biología de la conservación no parte de parámetros absolutos y la justicia ambiental no está exenta de una pluralidad moral, entonces la inteligencia artificial puede reproducir y aumentar los sesgos epistemológicos y éticos.

**Palabras clave:** biología de la conservación, inteligencia artificial, justicia ambiental, pluralidad, sesgo.

**Abstract.** Conservation biology has embraced the development and application of artificial intelligence to optimize its work. The efficiency with which machine learning processes data helps to identify wild species, repair anthropogenic impacts, and intervene in ecosystems, offering supposedly good results for conservation. Thus, artificial intelligence can here be proposed as an ally of environmental justice. However, I will dispute this thesis, arguing that since conservation biology does not start from absolute parameters and environmental justice is not free from moral plurality, then artificial intelligence could reproduce and increase epistemological and ethical biases.

**Keywords:** conservation biology, artificial intelligence, environmental justice, plurality, bias.

---

Recibido: 20/03/2023. Aceptado: 17/04/2023.

\* Este artículo forma parte del proyecto de investigación *Ética del Rewilding en el Antropoceno: Comprendido los Escollos de Regenerar Éticamente lo Salvaje* (acrónimo ERA-CERES), con referencia PZ618328 / D043600, y financiado por la Fundación BBVA.

\*\* Instituto de Filosofía, Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Departamento de Filosofía, Universidad Autónoma de Barcelona. Investigador postdoctoral en ética ecológica, ética animal, salud global, teorías de la justicia y *rewilding*. Moyano Fernández, C. (2022). *Ética del rewilding*. Madrid: Plaza y Valdés. Moyano Fernández, C. (2023). The moral pitfalls of cultivated meat: complementing utilitarian perspective with eco-republican justice approach. *J Agric Environ Ethics* 36(23). <https://doi.org/10.1007/s10806-022-09896-1>. Dirección de correo electrónico: [cristian.moyfe@gmail.com](mailto:cristian.moyfe@gmail.com)

## 1. Una cartografía de la IA usada en biología de la conservación

La inteligencia artificial (IA) puede ser definida como el conjunto de sistemas computacionales que automáticamente combinan algoritmos para emular conductas consideradas inteligentes (Kaplan 2016). Esta se está aplicando cada vez más en diferentes ámbitos: robótica, publicidad, transportes, medicina, traducciones, videojuegos, finanzas, agricultura, sostenibilidad, etc. En este artículo voy a abordar especialmente su desarrollo y aplicación en el campo de la biología de la conservación. En concreto, voy a discutir si la IA usada para la preservación de la biodiversidad puede considerarse una buena estrategia de justicia ambiental, sin apenas problemas epistemológicos ni éticos, o si, por el contrario, puede incurrir en algunos sesgos debido a una escasa atención a los valores que guían la recolección y el procesamiento de datos, así como su consecutiva aplicación algorítmica.

Para tal propósito, en adelante, voy a seguir el siguiente esquema discursivo. Primero, en esta misma sección, exploraré qué sistemas de IA se están investigando y aplicando para proteger la naturaleza. Considero que diferenciar los propósitos dentro de la biología de la conservación permite cartografiar con mayor precisión los tipos de IA desarrollados y, así, analizar el peso moral que puede haber tras estos. A continuación, dado que en este trabajo lo que interesa reflexionar es si estos tipos de IA pueden evaluarse como estrategias ambientalmente justas, hará falta aclarar qué se entiende por justicia ambiental. Dedicaré la segunda sección a esta revisión teórica. Luego, la siguiente sección buscará preguntarse cuáles son los límites epistemológicos y las premisas normativas que contiene una disciplina científica como es la biología de la conservación, porque discreparé de la idea de que esta sea una ciencia totalmente objetiva. Afirmaré que el conocimiento descriptivo que se pueda obtener queda matizado por los patrones socioculturales que permite el hacer, antropogénicamente, ciencia. Dado que estas secciones me llevarán a intuir que no puede haber solo un único veredicto respecto a la pregunta ética de si la biología de la conservación es una buena estrategia de justicia ambiental, entonces parecerá razonable concluir lo mismo para cualquier tipo de IA usada desde esta disciplina con tal fin estratégico. Aun así, dedicaré la cuarta sección a profundizar en esto último, tratando de desentrañar cuáles son los desafíos aportados en concreto por el uso de la IA y argumentar cómo respaldan la conclusión de que hay diversas respuestas posibles ante la pregunta central de este artículo.

Ahora, tal y como he apuntado, comencemos por el primer punto. Antes de nada, es preciso preguntarse qué sistemas de IA se están desarrollando para mejorar los esfuerzos conservacionistas. Hay una creciente literatura al respecto. Según la finalidad a la que responden los sistemas de IA elaborados para la biología de la conservación, se pueden clasificar en diversos grupos.

Un primer grupo tendría como finalidad la identificación o monitorización. Aquí se recogerían todos aquellos sistemas de IA utilizados para, mediante el procesamiento de datos, reconocer especies, individuos, comportamientos, patrones o características que se consideran relevantes para la biología de la conservación. Tal y como resume la siguiente tabla, podrían diferenciarse cuatro subgrupos dentro de este.

<i>Tabla 1 – Primer grupo</i>	
Identificación y/o monitorización	Referencias
a. Especies exóticas invasoras	Xiao et al. 2018; Jensen et al. 2020; Carter et al. 2021
b. Caza furtiva y tráfico ilegal de especies	Isabelle y Westerlund 2022
c. Daños, deterioro o contaminación sobre ecosistemas naturales	Mayfield et al. 2020; Leal et al. 2020; Giuliani et al. 2020; Agarwala 2021; Hoang et al. 2022
d. Especies amenazadas, vulnerables o en peligro	Corcoran et al. 2019; Santangeli et al. 2020; Gradolewski et al. 2021

Además de este primer grupo basado sobre todo en la identificación y monitorización de especies o ecosistemas, puede catalogarse un segundo grupo de IA que directamente busca la reparación de los impactos que los humanos generamos en la biosfera, principalmente, por medio de la reducción y eliminación de contaminantes y residuos vertidos. Aquí entrarían aquellos sistemas de aprendizaje automático que, además de identificar y alertar, movilizan máquinas autómatas para emprender un proceso que minimice o revierta la contaminación ambiental.

<i>Tabla 2 – Segundo grupo</i>	
Reparación	Referencias
Eliminación de contaminantes y reducción de residuos	Beladi-Mousavi et al. 2021; Kumar Singh et al. 2023

Finalmente, se podría categorizar un tercer grupo de sistemas de IA que estuvieran programados para la intervención y gestión directa de las especies salvajes. Aquí se encuadrarían, por un lado, los casos en los que se produce una intervención mediante cuerpos robóticos cuya influencia impactaría externamente en otras especies salvajes y, por otro lado, aquellos casos de intervención directa que consistirían en modificar internamente los organismos de las especies salvajes, empleando el método de edición genética CRISPR/Cas9 parcialmente gracias a la IA.

<i>Tabla 3 – Tercer grupo</i>	
Intervención y/o gestión	Referencias
a. Depredadores artificiales	Polverino et al. 2021
b. Manipulación genética con CRISPR/Cas9	Champer et al. 2021; Aysegul et al. 2022

En definitiva, todas estas investigaciones y experimentos que usan la IA a fin de optimizar el rendimiento de los esfuerzos en biología de la conservación mantienen diferentes grados de interferencia en la naturaleza salvaje y, por ende, parten implícitamente de distintas consideraciones morales. En su conjunto, todas albergan la preocupación por preservar la biodiversidad, mitigar el declive de especies silvestres y asegurar una buena funcionalidad de los ecosistemas. Todas conceden un valor a la naturaleza no humana. Pero esta valoración no es objetiva ni uniforme, sino versátil y plural; así como también es variable su estrategia ética o atención sobre los valores morales.

Desde la misma fase de recopilación de datos hasta la última fase de aplicación algorítmica vía aprendizaje automático se asumen tácitamente una serie de premisas epistemológicas y morales derivadas de un poso normativista con respecto a cómo comprendemos y valoramos la conservación de la vida salvaje. Si aceptamos la premisa de que la biología de la conservación es incapaz de mantener, en todo momento y contexto, criterios estrictamente biologicistas porque se nutre también de valores sociales (Baumgaertner y Holthuijzen 2016), cualquier método de IA desarrollado para este campo será susceptible de acrecentar los condicionantes socioculturales que dirimen cómo conservar. Por ello, es importante incorporar reflexiones normativas procedentes de la justicia ambiental y ecológica, porque pueden ayudar a matizar, o al menos a tomar en consideración, los factores y condicionantes que pueden agravar las injusticias a nivel interespecie y a nivel ecosocial.

## **2. La dimensión normativa de la justicia ambiental**

La literatura de la justicia dentro de la teoría política se ha incrementado desde hace medio siglo, especialmente a raíz de la obra de John Rawls (1971). El marco teórico rawlsiano se ha enfocado sobre todo en la distribución de bienes y recursos en las sociedades, articulando los principios éticos sobre los cuales deberían repartirse estos para lograr un resultado justo. La justicia ambiental ha buscado aplicar estas ideas al dominio ambiental o ecológico, postulando que hay unos derechos de acceso a bienes naturales comunes para todos (Dobson 1998).

Sin embargo, hasta hace pocos años la justicia ambiental, por un lado, apenas ha prestado suficiente atención al desarrollo de las teorías de la justicia social y, por otro, tampoco se ha preocupado profundamente por los impactos ambientales en el mundo no humano (Dobson 1998; Schlosberg 2007). Es decir, respecto al primer punto, los movimientos por la justicia ambiental sobre todo se han centrado históricamente en discutir el balance ético entre los costes ecológicos y los beneficios sociales de algunas actividades, así como en cuestionar por qué algunos colectivos sufrían más los costes y otros ganaban más beneficios. Han atendido a preocupaciones de la justicia distributiva y de la justicia como reconocimiento, pero apenas han incorporado en sus argumentos las aportaciones desde otros marcos teóricos, como el del enfoque de las capacidades (Sen 1999). Y, respecto al segundo punto, la justicia ambiental ha mantenido una larga trayectoria histórica ignorando las vidas de los individuos y comunidades no humanas, valorando principalmente los daños y desigualdades que sufren las sociedades humanas por causas ambientales. Aunque este círculo de la moral

ha ido cambiando, ello ha supuesto una escisión con la denominada «justicia ecológica» (Wienhues 2020) y la «justicia multiespecies» (Celermajer et al. 2020).

A pesar de que la justicia ambiental es un concepto joven, cuenta con una proyección polisémica (Holifield et al. 2017). Esto es porque recupera la preocupación rawlsiana de cómo repartir a cada uno lo que le corresponde, pero en referencia a los beneficios y a los costes ambientales (Walker 2012), a la vez que se preocupa por quiénes quedan reconocidos, visibilizados y representados en las políticas ambientales, incluyendo los colectivos más vulnerabilizados por el deterioro ecosistémico, las generaciones futuras y la naturaleza no humana (Schlosberg 2013).

La normatividad de la justicia ambiental es, o en teoría debe ser, plural (Schlosberg 1999) y puede extenderse en una dirección u otra en función de con qué otras teorías y marcos se relacione: si más con la justicia social distributiva, con las teorías relacionales y del reconocimiento, con la justicia ecológica o con la justicia multiespecies. De acuerdo con varios autores, la justicia ambiental tiene un carácter contextual (Dobson 1998; Schlosberg 2004, 2007; Catney et al. 2013; Holifield et al. 2017; Malin y Ryder 2018). Así pues, al no emitir juicios valorativos absolutos, difícilmente podría guiar plenamente las evaluaciones normativas de la IA usada en biología de la conservación hacia *el* procedimiento justo, porque hay *varios* procedimientos justos en función del enfoque moral. Sin embargo, esto no significa que preguntarse por la justicia ambiental en este caso sea una cuestión irrelevante o derivada de un solipsismo, porque hay mejores o peores razonamientos morales y además estos pueden servir para formular aquellos interrogantes que han quedado sistemáticamente invisibilizados en la perpetuación del aprendizaje automático y en la aceptación acrítica de sus resultados.

La justicia ambiental, ecológica o multiespecies (en cualquiera de sus vertientes teóricas) harían hincapié en recoger y tomar en consideración aquellos pensamientos normativos aplicados a la injusticia algorítmica que, específicamente, pueden perpetuar los sesgos en la IA usada para biología de la conservación. Así que lo reivindicado en este artículo será la importancia de llevar a cabo análisis interdisciplinarios y plurales de la justicia que permitan ofrecer una axiología multinivel en la evaluación de la IA usada en biología de la conservación. De esta manera, a la pregunta de si es ética o justa la IA usada en este campo, no servirían las respuestas polarizadas y binarias, porque se debería tomar como referencia una diversidad de teorías normativas.

Para encarar la cuestión filosófica que tiene por título este artículo, identifico tres órdenes de discusión: primero, preguntarse qué entendemos por justicia ambiental y si esta tiene una definición unánime y absoluta; segundo, preguntarse si la biología de la conservación es una buena estrategia de justicia ambiental; y tercero, preguntarse si la IA aplicada en biología de la conservación lo es (una buena estrategia de justicia ambiental). Si en el primer orden ya encontramos razones que conducen, genéricamente, a una respuesta negativa, porque asumimos que la justicia ambiental es contextual, luego los siguientes órdenes quedarán impregnados de esta conclusión. Y no porque realmente cada orden repita la misma pregunta ni porque las respuestas posibles sean las mismas: las razones morales que justifiquen si la IA usada en biología de la conservación es justa o injusta no serán idénticas a las que justifiquen si la biología de la conservación es justa o injusta.

Al aplicar la justicia ambiental en el campo de la biología de la conservación, los juicios valorativos se están contextualizando en aquellas estrategias, epistemologías y axiologías que predominan en biología de la conservación, así que serán diferentes respecto a aplicar estos juicios en, por ejemplo, el campo de la medicina, la publicidad, o la industria energética o automovilística. Al tematizar el análisis de la justicia ambiental hacia un campo específico, esta despierta una serie de preguntas determinadas y no otras. Si, además, lo que estamos valorando (con criterios de justicia ambiental) es un tipo concreto de herramienta usada a veces en biología de la conservación, como los sistemas de IA, las preguntas que emerjan serán aquellas ya planteadas respecto al propio significado de la justicia ambiental, sumadas a las ya planteadas respecto a si es justa la biología de la conservación, y sumadas a si es justo el uso de la IA en este campo.

Esta agregación de preguntas y reflexiones filosóficas que pueden plantearse añaden capas y matices específicos, diferentes a si se agregasen respecto a otros temas. Si ya aceptamos que la justicia ambiental es una noción polisémica y por ello sus juicios normativos sobre cualquier campo o ámbito en general no van a ser exclusivamente binarios, entonces tampoco serán binarios los juicios sobre si todas las estrategias y abordajes que reúne la biología de la conservación son ambientalmente justos o injustos. Hay matices. Si nos preguntamos, por ejemplo, si es ambientalmente justo el uso de combustibles fósiles, o si es ambientalmente justo el uso de armamento nuclear para crear zonas de exclusión humana y conservar la naturaleza, o si es ambientalmente justo el uso de IA para predecir el mercado del sector automovilístico, difícilmente encontraremos que todas las respuestas concluyan que una estrategia es plenamente justa y las demás absolutamente injustas. No habrá esta polarización radical porque la justicia ambiental es normativamente plural y contextual (Schlosberg 1999, 2007). Pero como sus juicios tampoco son solo subjetivos ni se forman desde una suerte de anarquismo moral, sino que son razonados y demuestran una cierta objetividad producto de la intersubjetividad resituada en el mundo (Putnam 1990) e interobjetividad (Latour 2007), lo que sí encontraremos serán unas valoraciones mejores que otras.

Es decir, seguramente, coincidiríamos en que son ambientalmente más justos, por ejemplo, los usos de IA para optimizar el despliegue de fuentes renovables que los IA usada para optimizar el despliegue de combustibles fósiles, o los esfuerzos en biología de la conservación que los esfuerzos en desarrollo automovilístico, nuclear o militar. Pero como la justicia ambiental es plural, difícilmente se podrá concluir que uno de estos ejemplos es totalmente injusto y otro está exento de injusticias. Dependerá de si se pone el acento en según qué horizonte temporal, incluyendo a largo plazo o no a las generaciones futuras, en según qué colectivos, incluyendo o no a las tribus indígenas o colectivos marginalizados, en según qué individuos, incluyendo o no a las especies no humanas, en según qué comunidades, incluyendo o no a los ecosistemas naturales, y bajo qué criterios axiológicos (si reconociendo valores instrumentales, intrínsecos, o de otro tipo).

En definitiva, los marcos culturales y de valores son plurales y dinámicos, están en constante revisión y evolución. Así que cualquier sistema de IA aplicado en biología de la conservación que se asiente sobre esos patrones solo puede esperar quedar sujeta a un constante análisis crítico, donde continuamente se examinen los datos obtenidos, sus parámetros y referencias, su procedimiento de aprendizaje e incluso su veredicto final.

Que haya una diversidad conceptual y valorativa dentro de lo que se conoce como justicia ambiental no significa que solo los juicios de valor deban ser revisables. Además, las cuestiones de hecho y procedimentales de una disciplina como la biología de la conservación deberían ser sometidas a revisión crítica, al menos desde una visión constructivista de la ciencia.

### **3. La aparente fiabilidad epistemológica y la neutralidad axiológica de la biología de la conservación**

En las secciones anteriores he esbozado, por un lado, una cartografía de los diferentes sistemas de IA que se están desarrollando para la biología de la conservación y, por otro, una revisión teórica de la narrativa de la justicia ambiental. He tratado de exponer someramente que hay implícitamente una axiología asimétrica en las diversas aplicaciones de IA, así como una amplia pluralidad moral detrás del concepto de justicia ambiental. Así pues, estas dos premisas me llevan a reforzar la hipótesis de que el aprendizaje automático usado en biología de la conservación no es plenamente una estrategia que podamos evaluar absoluta y normativamente como justa o injusta, concluyendo con una exégesis binaria. Dependerá de qué valores estemos sopesando, con qué relevancia, y desde qué enfoque ético.

Es decir, mi planteamiento es que la IA usada en biología de la conservación no va a contribuir *per se* a una mejor justicia ambiental. Y esto no será porque no tenga relevancia el concepto de justicia o porque no pueda haber unas razones éticas mejores que otras. No es mi propósito defender un relativismo moral, así como tampoco un objetivismo acérrimo. Por ejemplo, no secundo aquí la tesis de Nelson Goodman (2013) de que hay muchos mundos, cada uno creado por la mente humana, ni tampoco la herencia empirista de la dicotomía hecho-valor, reforzada por la distinción kantiana entre juicios analíticos y sintéticos. Siguiendo la estela ontológica y epistemológica pragmatista de Charles Peirce y Hilary Putnam, parto de la tesis de que los juicios éticos a menudo tienen una base fáctica y los juicios científicos, o cuestiones de hecho, tienen asimismo un poso ético (Putnam 1990, 2002). En cierto sentido, los sujetos, por un lado, construimos los hechos, porque siempre percibimos desde nuestra inmersión influyente en el mundo. Y, por otro lado, construimos los valores, pero esto no significa que sean arbitrarios: hay valores mejores o peores en función de si responden a necesidades humanas reales o a simples caprichos. Esta intuición de Putnam se vio reforzada por el enfoque de las capacidades de Amartya Sen (1999), según el cual deberían protegerse políticamente aquellas libertades sustantivas de los individuos que les permiten transformar los recursos en funciones valiosas para lograr autorrealizarse.

Así pues, mi enfoque en este artículo se mantiene crítico respecto al nihilismo y al positivismo más radicales. Las acciones de biología de la conservación (sean de identificación, reparación o intervención) que dependen de la IA se sustentan sobre estudios empíricos, pero ineludiblemente también sobre patrones socioculturales (Baumgaertner y Holthuijzen 2016). Hay cuestiones fácticas que son más urgentes que otras dadas su creciente velocidad de cambio y los efectos que producen, como el declive de la biodiversidad, que conduce a la llamada Sexta Gran Extinción, el cambio climático acelerado, o la contaminación atmosférica, acuática y terrestre (Steffen et al. 2015). Pero la comprensión de estos sucesos fácticos

no significa que los métodos científicos y la observación del mundo, en tanto son llevados a cabo por sociedades humanas, no arrastren consigo una interpretación o cosmovisión, un esquema de valores y un lenguaje determinado (Searle 1995).

La ciencia es posible por la existencia de comunidades científicas. De acuerdo con Thomas Kuhn (1971), la historia de la ciencia no muestra una linealidad uniforme donde cada vez nos acercamos más a una verdad objetiva, sino que cuanto hay es una sucesión de modelos y, de asentarse culturalmente estos, de paradigmas que son relativos al momento social y al contexto histórico. Con esto, Kuhn no quiere decir que no haya progreso en la ciencia, sino que este no es acumulativo. Este planteamiento atravesó el blindaje epistemológico del positivismo y del realismo para los cuales había un hiato significativo entre el quehacer científico y las pertenencias sociales. Bruno Latour le dio una vuelta de tuerca al externalismo antirrealista kuhniano y explicaría que los hechos científicos son construidos en un proceso social, que en el caso de las ciencias experimentales ocurre en un espacio privilegiado como es, por ejemplo, el laboratorio (Latour 1992). Latour no se limitaba a subrayar la importancia del contexto social en la ciencia, como ya había hecho Kuhn, sino que puntualizaba que la propia objetividad científica es el resultado de las prácticas científicas, de la ciencia en acción. Una acción llevada a cabo por personas con una formación determinada, en ciertos entornos concretos y con unas tecnologías y equipamiento específicos.

Aplicar estos pensamientos constructivistas al campo de biología de la conservación no significaría anclarse en una postura de posverdad donde sea tan válido (o inválido) el reconocimiento y eliminación de una especie invasora como de una autóctona, reducir la contaminación como aumentarla, extinguir especies como conservarlas. Más bien, implicaría aceptar que hay margen epistemológico para someter a crítica los modos en que las personas y nuestras instituciones llevan a cabo la ciencia, donde hay factores condicionantes como los intereses, las alianzas, la representación pública o los recursos (Latour 2002: 99-136).

Si a este carácter constructivista de los procedimientos científicos sumamos que la cuestión que trata de discutir este artículo, apelando a la justicia, queda articulada dentro de las ciencias humanas, entonces no parece razonable llegar a una conclusión taxativa. Más bien habría que concluir que la IA usada en biología de la conservación puede ser más o menos justa, en función de una serie de condiciones axiológicas y epistemológicas. Nuevamente, esto no implica caer en un relativismo ni en un escepticismo sistemático, sino comprender que hay una pluralidad de respuestas posibles y algunas serán más o menos razonables.

Fundir la pregunta por la justicia ambiental dentro de los procedimientos en biología de la conservación parece arrastrar la intuición moral de que todas aquellas evidencias que nos muestre esta disciplina científica serán los referentes justos que habrá que procurar recuperar. Es decir, si se encuentran evidencias de que una especie exótica invasora pone en peligro la supervivencia de otras especies nativas o autóctonas, entonces parecerá intuitivamente justo evitar el desarrollo de la invasora en ese contexto interdependiente y ecodpendiente; o si se hallan evidencias de que el blanqueamiento y muerte de los arrecifes de coral es consecuencia de una acidificación de los océanos motorizada por el calentamiento global antropogénico y por verter plásticos, entonces parecerá implícitamente justo limitar los gases contaminantes y reducir el vertido de residuos. ¿Significa ello que todo juicio de valor debe remitir a la observación de la naturaleza y es independiente de las emociones de los sujetos que la observan? Ya sabemos que Hume y Kant rechazaron esta idea, denunciándola como



una falacia naturalista: no todo lo natural es bueno, ni todos los juicios descriptivos de la realidad han de convertirse en normativos. Pero la corriente pragmatista recuerda que tampoco es plausible formular un código normativo subjetivamente descontextualizado y completamente ajeno al mundo en el que se vive, así como tampoco es plausible conocer el mundo natural desde una neutralidad totalmente objetiva (Putnam 1990, 2002). De este modo, la conjunción del conocimiento descriptivo generado desde la biología de la conservación con las valoraciones articuladas desde la justicia ambiental no debería dar lugar a constataciones acríticas, sino, en todo caso, a constataciones relevantes mas filosóficamente revisables.

Este breve recorrido por distintos pensamientos de filosofía de la ciencia me lleva a tomar en consideración que hay una serie de interrogantes que primero deberíamos abordar a fin de encarar la pregunta central de este trabajo, a saber, si es justa la IA desarrollada para biología de la conservación.

#### 4. ¿Es la IA justa para conservar la naturaleza salvaje?

Hasta ahora, he mostrado primero una variabilidad de aplicaciones de IA usadas en biología de la conservación. Después he abordado el marco de la justicia ambiental para comprenderlo de modo contextual y plural. Y por último he sugerido la adopción de un enfoque normativista o constructivista con el que analizar la justicia ambiental en el campo de la biología de la conservación. Con esto podríamos concluir que, si hay versatilidad y no una única respuesta moral posible a la pregunta de si serán ambientalmente justas las diversas praxis de biología de la conservación, entonces tampoco la podrá haber frente a la cuestión de si la IA usada en biología de la conservación es una buena estrategia de justicia ambiental. Pero falta profundizar más en esta conclusión y reflexionar sobre por qué específicamente la IA (y según qué tipo de IA desarrollada para cada praxis conservacionista) puede conducir a una respuesta de este tipo.

Este último interrogante implica considerar que el modo en que la IA es usada en biología de la conservación puede justificar que esta se considere una estrategia más o menos ambientalmente justa mediante unas razones complementarias pero no idénticas a las preguntas anteriores (de si la justicia ambiental es un marco moralmente homogéneo y si la biología de la conservación es ambientalmente justa). Para argumentar esta consideración, a continuación, exploraré cuatro razones por las cuales la dependencia de la biología de la conservación en los sistemas de IA puede reproducir los sesgos epistemológicos y morales, acrecentando las injusticias ambientales: concepción previa, selección en el muestreo, opacidad y costes ambientales.

Hay una *concepción previa* en las nociones y conceptos usados en biología de la conservación. Los datos no son plenamente objetivos, sino que cada observación alberga alguna teoría que nos dice lo que hay que ver (Van Fraassen 1980). Las bases de datos (en el caso de biología, sobre todo, imágenes) se fundamentan en realidad en conceptos teóricos previos. Las identificaciones de, por ejemplo, una “especie invasora”, “tráfico ilegal”, un “arrecife deteriorado”, una “especie amenazada” o una “especie nativa”, parten de una concepción previa y una valoración social de lo que científicamente se ha consensuado entender por estos adjetivos (Baumgaertner y Holthuijzen 2016). No son atributos ontológicos que corres-

pondan intrínsecamente y en cualquier circunstancia a la especie o ecosistema observado. Sino que son características que observamos y nombramos en relación con el contexto que también observamos o tenemos en cuenta. Por ejemplo, una especie será invasora si relacionamos los efectos de su comportamiento con las dinámicas de otras especies autóctonas de una región determinada, pero si relacionamos sus efectos con otras especies y en otras regiones, el diagnóstico puede cambiar. Si un algoritmo capta y procesa la imagen de un cangrejo rojo americano quizá lo catalogará como una especie invasora si parte de una concepción previa contextualizada en el territorio español, pero si esta catalogación ha de servir para guiar y tomar decisiones conservacionistas en el sureste de Estados Unidos, de donde esta especie es autóctona, entonces la IA estará perpetuando un sesgo. Esto no quiere decir que los conceptos asumidos por el aprendizaje automático en base a la ciencia de la biología de la conservación sean arbitrarios. Lo que supone simplemente es que toda IA recoge información y conceptos a veces contextuales para procesar unas decisiones que luego pueden ser percibidas como objetivas y universales. Mientras que los biólogos conservacionistas ya sabrán cuándo una especie tiene un carácter de invasora, cuándo y desde qué horizonte temporal se puede considerar nativa, o en qué condiciones está un ecosistema deteriorado, un algoritmo puede no ofrecer una explicación comprensible de estos matices.

Un colectivo humano, como un grupo de científicos, puede hacer un ejercicio metacrítico y preguntarse si las “anomalías” observadas en la naturaleza desafían sus concepciones previas. Por ejemplo, si un sistema de IA capta las imágenes de lince boreales o de pigargos en la península ibérica, tal vez procese la información de tal manera que los identifique automáticamente como especies exóticas, invasoras o como los productos de un tráfico ilegal. Una política conservacionista que solo tomase como referencia las conclusiones de la IA por considerarlas más justas, quizás emprendería medidas para eliminar la especie o para desplegar toda una red para atrapar a los causantes de ese supuesto tráfico ilegal. Sin embargo, si es un grupo de científicos quienes captan y procesan estas imágenes e información, quizá lleguen a la conclusión, más sistémica, de que el factor que estimuló la presencia de esas especies en la península fue el cambio climático acelerado, y que por ello habría que abandonar los marcos previos con los que se clasifican a las especies, con conceptos duales como nativo-exótico, y elaborar nuevas concepciones como, por ejemplo, el de “especie refugiada” u otra concepción que consideremos comprensiblemente razonable (Lemoine y Svenning 2022). De hecho, desde la ética animal hay diversas objeciones al uso de términos como “especies invasoras”, razonando que ello invita a desvalorizar las dinámicas migratorias y adaptativas que se dan en la evolución de las especies, a la vez que puede invisibilizar las responsabilidades humanas en el deterioro ecosistémico, lo cual a veces propicia la demonización de algunas especies no humanas y la legitimización de su exterminio, antes que optar por otras medidas (Faria y Paez 2019; Inglis 2020). Estas y otras reflexiones podrían incorporarse a la hora de desarrollar la IA en la biología de la conservación. Los sistemas de IA no pueden reflexionar críticamente sobre por qué ciertos criterios (como la inhibición del desarrollo de especies autóctonas, la presencia en entornos no oriundos, el agotamiento de los recursos, etc.) pueden ser relevantes para la adjudicación de un atributo o categoría (como especie invasora) y esto es porque no son capaces de tomar distancia reflexiva acerca de las concepciones teóricas ni de los consecuentes valores sociales sobre las que basa su aprendizaje.

En relación con este razonamiento, también debería considerarse que siempre hay una *selección en el muestreo* derivado, en general, de nuestros patrones culturales. Por más cámaras que se instalen y por más satélites desplegados, no es posible compilar todas las imágenes y datos posibles respecto al estado de la naturaleza salvaje o los procesos de degradación antropogénica, de manera que habrá que hacer una selección, en el que se priorizará la obtención de unas muestras sobre otras (Guersenzvaig y Casacuberta 2022). La cuestión por discutir aquí será sobre qué razones, si es que las hay, priorizamos la obtención de unos datos sobre otros; y en caso de que no haya un proceso deliberativo, habría que dilucidar desde qué prejuicios estamos optando por recopilar unos datos y no otros. La IA usada en biología de la conservación solo pueda ayudar a capturar estos datos, a procesarlos y a emitir unos determinados veredictos que, de acuerdo con la casuística esbozada en la primera sección, podrán manifestarse en forma de identificación y monitorización, en forma de reparación, o en forma de intervención y gestión. ¿Pero los datos con los que cuentan estos sistemas de IA proceden equitativamente de todas las regiones o notoriamente más de unas que de otras? ¿O por qué, por ejemplo, en los muestreos hay muchas especies de mamíferos y de aves datadas, pero apenas de insectos? La respuesta quizás consiste en que hay sesgos en la selección de las muestras que se recopilan para ser usadas por los sistemas de aprendizaje automático, sesgos que podrían ser condicionados por factores culturales, sociales, económicos o políticos, y que no responden por tanto a razones científicas estrictamente objetivas (Vane-Wright 2009). De ello resulta que ciertas especies, especialmente aquellas por las que sentimos culturalmente más simpatía, gozan de una visión más favorable que otras. Así los animales invertebrados, como los insectos, suelen quedar en su mayoría relegados, sobre todo en Occidente (Kim 1993), a lo sumo, con excepción de las abejas o las mariposas. Y esto ocurre por diversas razones acientíficas, como el desconocimiento del público general y de los políticos por tales especies debido a motivos estéticos o culturales, y la escasa financiación recibida para investigar o gestionar estas (Cardoso et al. 2011).

Un tercer punto de discusión tiene que ver con la *opacidad* de la IA. Las redes neuronales utilizadas para el aprendizaje automatizado están hechas de largos vectores numéricos que hacen muy difícil entender qué lleva a un sistema de IA a tomar las decisiones que toma y conocer el peso que ha tenido cada variable o indicador en la configuración del resultado final (Gordon 2020). Las recomendaciones y resultados que genera la IA son producto de un proceso algorítmico que, en la mayoría de las ocasiones, no puede ser explicado por los propios expertos que usarán esas recomendaciones y resultados (Guersenzvaig y Casacuberta 2022). Esta inexplicabilidad, opacidad o falta de transparencia suele denominarse la “caja negra” de la IA. Estas cajas negras habituales en el aprendizaje automático nublan la atribución de responsabilidades en caso de errores o conclusiones indeseadas, dificultan la inspección de sesgos e inhiben la transparencia y confianza que son importantes para la aceptación pública de estas tecnologías (Rueda et al. 2022).

En cuarto lugar, hay que considerar e incluir dentro del balance moral los *costes ambientales* de la IA. Los sistemas de IA tienen un innegable impacto sobre los ecosistemas debido a la demanda energética que requieren para el funcionamiento de todo su ciclo, desde el almacenamiento de datos hasta el procesamiento de estos, y a sus consecuentes emisiones (Strubell et al. 2019; Van Wynsberghe 2021; Patterson et al. 2021; Wu et al. 2022). Este coste ambiental a veces puede medirse incluyendo en el análisis su huella de carbono CO<sub>2</sub>

(Dhar 2020), aunque algunos autores ya han alertado de que desde un enfoque holístico haría falta incorporar nuevas métricas al cómputo, que incluyan la dependencia de otros recursos y materiales, así como su impacto sobre la biodiversidad (Wu et al. 2022). Más allá de la actual demanda fósil que requiere la IA, se ha planteado que una transición energética a fuentes renovables mitigaría esta carga ambiental. ¿Esto haría de la IA una estrategia más alineada con la biología de la conservación y, de este modo, no sería una incoherencia emplearla en este campo? O lo que es lo mismo: ¿podría ser así una buena estrategia de justicia ambiental? Sigue sin estar claro. Los efectos ambientales de la IA no son solo las emisiones de dióxido de carbono que podrían reducirse con la absorción de energía limpia gracias a más tecnologías renovables, y, además, estas últimas tienen su propio consumo de minerales, recursos y espacio que necesario para su despliegue. Tal y como denuncia la paradoja de Jevons, un aumento de la eficiencia no necesariamente va a implicar una reducción de los costes (en este caso, ambientales), porque una creciente demanda acumulativa debido al interés público y abaratamiento del desarrollo tecnológico puede agravarlos a la larga (Polimeni et al. 2009).

Así pues, habida cuenta de estas razones: ¿desde qué enfoque ético habría que preguntarse si compensa o no usar IA en biología de la conservación si nos preocupa la justicia ambiental? Hay un poso normativo en la narrativa de la justicia (en este caso, ambiental) aplicada a la valoración de la IA usada en el campo de biología de la conservación. Es decir, a las preguntas de si la IA usada en biología de la conservación es buena o justa, como son preguntas morales, hay rasgos valorativos en ellos. Esto no quiere decir que no tengan ninguna validez objetiva y solo prime la anarquía o subjetividad moral. Lo que quiere decir es que no será tan sencillo como quedarnos con una conclusión binaria de bueno-malo, justo-injusto, sino que habrá una gradación en los juicios y algunos serán mejores que otros. Recordemos que esto es algo ya apuntado por Putnam (2002), quien nos decía que algo puede ser más o menos razonable moralmente.

Finalmente, no solo hay que insistir en aquellas razones que llevan el análisis normativo de la IA usada en biología de la conservación hacia una conclusión de valoración negativa, como si la IA solo empeorase los esfuerzos por conservar la naturaleza. También es menester tener en cuenta las ventajas que específicamente aporta la IA a la biología de la conservación que, recogiendo la casuística esquematizada en la primera sección, podríamos sintetizar en las dos siguientes:

*Eficiencia*, resumida en una mayor velocidad en la obtención y procesamiento de datos a menor coste, lo cual facilita la rapidez en las clasificaciones, las predicciones o la toma de decisiones. Los últimos años, la ciencia ciudadana ha sido un método participativo que ha ayudado a la biología de la conservación a obtener muchos más datos en poco tiempo, pero el trabajo de los voluntarios puede ser lento o poco asiduo cuando se trata de datar información de especies poco carismáticas. En cambio, las herramientas de IA no se fatigan como los humanos, y podrían ser mejores detectando patrones infrecuentes o complejos (Kwok 2019). De este modo, pueden mejorar el rendimiento a bajo coste social, lo cual puede ser clave en un contexto de urgente deterioro ecológico.

*Precisión*, entendida como el número de aciertos dividido entre el total de las muestras obtenidas o como tasa de fiabilidad. La IA puede ser más más precisa que los humanos en los procesos de identificación y monitorización (Rueda et al. 2022). La clasificación automatizada de datos visuales, acústicos y espaciales mediante el aprendizaje profundo permite

proporcionar conjuntos de datos más grandes para su uso en modelos de ecosistemas complejos, o supervisar automáticamente plataformas basadas en texto, como la supervisión en línea del comercio ilegal de vida silvestre (McClure et al. 2020). En general, esta ventaja de la IA se manifiesta bajo un esquema probabilístico que procura reducir su margen de error, la cual es una carrera en la que se sumergen numerosas investigaciones y proyectos.

En definitiva, estas ventajas no tienen por qué entenderse necesariamente como razones por las cuales merece la pena sustituir la ciencia ciudadana o el trabajo humano en la biología de la conservación. Como algunos autores ya han señalado (McClure et al. 2020), el aprendizaje automático de los sistemas de IA y los esfuerzos sociales participativos pueden complementarse y llegar juntos a resultados más eficaces, detallados e interdisciplinarios. Eso sí, son ventajas que deben ser sopesadas por los inconvenientes y razones por las cuales la IA podría perpetuar los sesgos y acrecentar ciertas injusticias.

## 5. Conclusiones

Frente a la pregunta de si la IA empleada en biología de la conservación es una buena estrategia de justicia ambiental, no hay una respuesta unívoca. En este artículo he probado de defender que dada la pluralidad de corrientes teóricas que nutren la narrativa de la justicia ambiental, así como de concepciones, contextos y valores detrás del propio campo de la biología de la conservación, y dado que la IA es sensible a invisibilizar o reproducir ciertos sesgos e impactos, toda evaluación normativa que hagamos debe ser examinada minuciosamente. Así pues, antes que ofrecer una resolución concluyente, he procurado mostrar que es importante primero atender y discutir diversas consideraciones razonables que podrían enriquecer el balance normativo. Esto implica reconocer la versatilidad semántica en el mismo concepto de justicia ambiental, abordar la dimensión sociocultural de la biología de la conservación y tomar en cuenta los escollos de depender del aprendizaje automático.

La IA presenta una serie de ventajas y no considero razonable rechazarla sistemáticamente, pero tampoco secundarla acríticamente. Incluso los sistemas de IA que entrarían en la clasificación propuesta del primer grupo, basados solo en la identificación y monitorización, merecen discutirse filosóficamente. Así que aquellas aplicaciones de IA clasificadas entre el segundo y el tercer grupo, que parten de una primera identificación pero luego inician acciones de reparación o intervención, aunque son minoritarias, deberían ser sometidas a un examen normativo más detenido. Para encarar interrogantes como el de este artículo es preciso seguir estudiando las diferentes premisas epistemológicas que sustenta la biología de la conservación y los valores morales que acogen las múltiples perspectivas de justicia ambiental.

## Referencias

Agarwala, N. (2021). Managing Marine Environmental Pollution using Artificial Intelligence. *Marit Technol Res*, 3.

- Aysegul, B., Phillip, C., Joshua, V., et al. (2022). Scalability of genetic biocontrols for eradicating invasive alien mammals. *NeoBiota*, 74, 93. <https://doi.org/10.3897/neo-biota.74.82394>.
- Baumgaertner, B., y Holthuijzen, W. (2016). On nonepistemic values in conservation biology. *Conservation Biology*, 31 (1), 48-55. <https://doi.org/10.1111/cobi.12756>.
- Beladi-Mousavi, S.M., Hermanová, S., Ying, Y., et al. (2021). A Maze in Plastic Wastes: Autonomous Motile Photocatalytic Microrobots against Microplastics. *ACS Appl Mater Interfaces*, 13: 25102-25110.
- Cardoso, P., Erwin, T.L., Borges, P.A.V., et al. (2011). The seven impediments in invertebrate conservation and how to overcome them. *Biological Conservation*, 144(11): 2647-2655. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.07.024>.
- Carter, S., van Rees, C.B., Hand, B.K., et al. (2018). Testing a Generalizable Machine Learning Workflow for Aquatic Invasive Species on Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) in Northwest Montana. *Front Big Data*, 18 (4), 734990. <https://doi.org/10.3389/fdata.2021.734990>.
- Catney, P., Dobson, A., Hall., S.M., et al. (2013). Community knowledge networks: an action-orientated approach to energy research. *Local Environment*, 18 (4), 506-520. <https://doi.org/10.1080/13549839.2012.748729>.
- Celermajer, D., Chatterjee, S., Cochrane, A., et al. (2020). Justice Through a Multispecies Lens. *Contemp Polit Theory*, 19, 475-512. <https://doi.org/10.1057/s41296-020-00386-5>.
- Champer, S.E., Oakes, N., Sharma, R., et al. (2021). Modeling CRISPR gene drives for suppression of invasive rodents using a supervised machine learning framework. *PLoS Comput Biol*, 17 (12), e1009660. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009660>.
- Corcoran, E., Denman, S., Hanger, J. et al. (2019). Automated detection of koalas using low-level aerial surveillance and machine learning. *Sci Rep*, 9: 3208.
- Dhar, P. (2020). The carbon impact of artificial intelligence. *Nature Machine Intelligence*, 2 (8), 423-425.
- Dobson, A. (1998). *Justice and the Environment: Conceptions of Environmental Sustainability and Theories of Distributive Justice*. Oxford University Press.
- Faria, C., y Paez, E. (2019). It's Splitsville: Why Animal Ethics and Environmental Ethics Are Incompatible. *American Behavioral Scientist*, 63(8): 1047-1060. <https://doi.org/10.1177/0002764219830467>.
- Giuliani, G., Mazzetti, P., Santoro, M., et al. (2020). Knowledge generation using satellite earth observations to support sustainable development goals (SDG): A use case on Land degradation. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 88, 102068.
- Goodman, N. (2013). *Maneras de hacer mundos*. Madrid: Antonio Machado.
- Gordon, J.S. (2020). *Smart Technologies and Fundamental Rights*. Boston: Brill.
- Gradolewski, D., Dziak, D., Martynow, M., et al. (2021). Comprehensive Bird Preservation at Wind Farms. *Sensors*, 21 (1), 267. <https://doi.org/10.3390/s21010267>.
- Guersenzvaig, A., y Casacuberta, D. (2022). La quimera de la objetividad algorítmica: dificultades del aprendizaje automático en el desarrollo de una noción no normativa de salud. *Ius et Scintia*, 8 (1), 35-56. <http://doi.org/10.12795/IESTSCIENTIA.2022.i01.03>.
- Hoang, T.D., Ky, N.M., Thuong, N.T.N., et al. (2022). Artificial Intelligence in Pollution Control and Management: Status and Future Prospects. En: Ong, H.L., Doong, Ra.,

- Naguib, R., et al. (eds). *Artificial Intelligence and Environmental Sustainability. Algorithms for Intelligent Systems*. Singapur: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-1434-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1434-8_2).
- Holifield, R., Chakraborty, J. y Walker, G. (2017). *The Routledge Handbook of Environmental Justice*. Londres: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315678986>.
- Inglis, M.I. (2020). Wildlife Ethics and Practice: Why We Need to Change the Way We Talk About ‘Invasive Species’. *J Agric Environ Ethics*, 33:299–313. <https://doi.org/10.1007/s10806-020-09825-0>.
- Isabelle, D.A. y Westerlund, M. (2022). A Review and Categorization of Artificial Intelligence-Based Opportunities in Wildlife, Ocean and Land Conservation. *Sustainability*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14041979>.
- Kaplan, J. (2016). *Artificial Intelligence*. Oxford: Oxford University Press.
- Kim, K.C. (1993). Biodiversity, conservation and inventory: why insects matter. *Biodiversity Conservation*, 2: 191–214. <https://doi.org/10.1007/BF00056668>
- Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económico.
- Kumar Singh, N., Yadav, M., Singh, V., et al. (2023). Artificial intelligence and machine learning-based monitoring and design of biological wastewater treatment systems. *Bio-resource Technology*, 369, 128486. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128486>.
- Kwok, R. (2019). AI empowers conservation biology. *Nature*, 567, 133-134. <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00746-1>.
- Latour, B. (2002). *La esperanza de Pandora. Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*. Barcelona: Gedisa.
- Latour, B. (2007). *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*. Oxford University Press.
- Leal, F.A., Miguel, E.P. y Matricardi, E.A.T. (2020). Estimates of Deforestation Rates in Rural Properties in the Legal Amazon. *Floresta Ambiente*, 27.
- Lemoine, R.T. y Svenning, J.C. (2022). Nativeness is not binary a graduated terminology for native and non-native species in the Anthropocene. *Restoration Ecology*, 30 (8), e13636. <https://doi.org/10.1111/rec.13636>.
- Malin, S.A. y Ryder, S.S. (2018). Developing deeply intersectional environmental justice scholarship. *Environmental Sociology*, 4 (1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/23251042.2018.1446711>.
- Mayfield, H., Smith, C., Gallagher, M. y Hockings, M. (2020), Considerations for selecting a machine learning technique for predicting deforestation. *Environ Model Softw*, 131, 104741.
- McClure, E.C., Sievers, M., Brown, C.J., et al. (2020). Artificial Intelligence Meets Citizen Science to Supercharge Ecological Monitoring. *Patterns*, 1 (7). <https://doi.org/10.1016/j.patter.2020.100109>.
- Patterson, D., Gonzalez, J., Le, Q., et al. (2021). Carbon emissions and large neural network training. *arXiv preprint arXiv:2104.10350*.
- Polimeni, J.M., Mayumi, K., Giampietro, M. y Alcott, B. (2009). *The Myth of Resource Efficiency. The Jevons Paradox*. Nueva York: Routledge.

- Polverino, G., Soman, V.R., Karakaya, M., et al. (2021). Ecology of fear in highly invasive fish revealed by robots. *iScience*, 25 (1), 103529. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.103529>.
- Putnam, H. (1990). *Realism with a Human Face*. Harvard University Press.
- Putnam, H. (2002). *The Collapse of the Fact/Value Dichotomy and Other Essays*. Harvard University Press.
- Rawls, J. (1971). *A Theory of Justice*. Harvard University Press, Belknap Press.
- Rueda, J., Delgado Rodríguez, J., Parra Jounou, I., et al. (2022). “Just” accuracy? Procedural fairness demands explainability in AI-based medical resource allocations. *AI & Society*. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01614-9>.
- Santangeli, A., Chen, Y., Klun, E., et al. (2020). Integrating drone-borne thermal imaging with artificial intelligence to locate bird nests on agricultural land. *Sci Rep*, 10: 10993.
- Schlosberg, D. (1999). *Environmental Justice and the New Pluralism: The Challenge of Difference for Environmentalism*. Oxford University Press.
- Schlosberg, D. (2004). Reconceiving Environmental Justice: Global Movements and Political Theories. *Environmental Politics*, 13 (3), 517-540. <https://doi.org/10.1080/0964401042000229025>.
- Schlosberg, D. (2007). *Defining Environmental Justice: Theories, Movements, and Nature*. Oxford University Press.
- Schlosberg, D. (2013). Theorising Environmental Justice: The Expanding Sphere of a Discourse. *Environmental Politics*, 22 (1), 37-55. <https://doi.org/10.1080/09644016.2013.755387>.
- Searle, J. (1995). *The Construction of Social Reality*. Nueva York: Free Press.
- Sen, A. (1999). *Development as Freedom*. Oxford University Press.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., et al. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347 (6223). <https://doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Strubell, E., Ganesh, A., y McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. *arXiv preprint arXiv:1906.02243*.
- Van Fraassen, B.C. (1980). *The Scientific Image*. Oxford University Press.
- Van Wynsberghe, A. (2021). Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI. *AI and Ethics*, 1 (3), 213-218.
- Vane-Wright, R.I. (2009). Planetary awareness, worldviews and the conservation of biodiversity. En: Kellert, S.R., Speth, J.G. (eds). *The Coming Transformation. Values to sustain human and natural communities*. New Haven: Yale School of Forestry & Environmental Studies, pp. 353–382.
- Walker, G. (2012). *Environmental Justice: Concepts, Evidence and Politics*. Nueva York: Routledge.
- Wienhues, A. (2020). *Ecological Justice and the Extinction Crisis Giving Living Beings their Due*. Bristol University Press.
- Wu, C.J., Raghavendra, R., Gupta, U., et al. (2022). Sustainable AI: Environmental implications, challenges and opportunities. *Proceedings of Machine Learning and Systems*, 4, 795-813.
- Xiao, Y., Griener, R. y Lewis, M.A. (2018). Evaluation of machine learning methods for predicting eradication of aquatic invasive species. *Biological Invasions*, 20, 2485-2503. <https://doi.org/10.1007/s10530-018-1715-2>.