

Inteligencia artificial sostenible y quintuple hélice: una respuesta ética en el ámbito de la innovación*

Antonio Luis Terrones Rodríguez

Universitat de Valencia / Instituto de Filosofia-CSIC

antonioluis.terrones@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4015-8537>

Resumen: En la era del Antropoceno y en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, la inteligencia artificial representa un elemento que profundiza los problemas relacionados con la degradación ambiental. En este sentido, figuras destacadas como Aimee van Wynsberghe y Mark Coeckelbergh han comenzado a plantear el concepto de inteligencia artificial sostenible (IAS). Sin embargo, es importante conectar esta propuesta conceptual con un modelo de innovación que permita su realización en aras de la sostenibilidad. La quintuple hélice constituye una oportunidad para el impulso de la IAS a través de una innovación comprometida con la participación social y el cuidado ambiental.

Palabras clave: inteligencia artificial; sostenibilidad; ética; innovación; quintuple hélice

Abstract: “Sustainable Artificial Intelligence and Quintuple Helix: An Ethical Answer in the Field of Innovation”. In the Anthropocene and within the context of the Fourth Industrial Revolution, artificial intelligence can be seen as an element that exacerbates the problems related to environmental degradation. Thus, renowned researchers such as Aimee van Wynsberghe and Mark Coeckelbergh have proposed the concept of Sustainable Artificial Intelligence (SAI). However, it is important to connect this conceptual approach with an innovation model that enables its realization for the sake of sustainability. The Quintuple Helix Framework represents an opportunity for boosting SAI through a form of innovation committed to social participation and environmental protection.

Keywords: Artificial Intelligence; sustainability; ethics; innovation; Quintuple Helix

* Esta publicación es parte del proyecto “Ética cordial y democracia inclusiva en una sociedad tecnologizada”, con referencia PID2022-139000OB-C21, financiado por MCIU/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE. Además, también cuenta con la financiación del Ministerio de Universidades del Gobierno de España y la Unión Europea (Next Generation EU), en el marco de las Ayudas Margarita Salas para la formación de jóvenes doctores del programa de recualificación del sistema universitario español.

Introducción

En las últimas décadas, las diversas manifestaciones de la degradación del medioambiente global se han incrementado considerablemente. La era del Antropoceno es una etapa surgida como resultado de la preocupante huella ecológica y geológica que la especie humana ha ocasionado sobre el planeta Tierra¹. Esta etapa se articula sobre la hibridación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. No supone, exclusivamente, una amenaza para los ecosistemas, sino también para los sistemas sociales². Ante esta situación, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)³, recogidos en la Agenda 2030, constituyen exigencias que han de fundamentar un desarrollo sostenible. En este sentido, en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial⁴, las tecnologías disruptivas como la inteligencia artificial (IA) no pueden permanecer al margen e hipotecar su desarrollo en un cuestionable solucionismo tecnológico⁵.

La historia de la humanidad ha estado ligada al desarrollo de la técnica desde sus orígenes⁶. El fuego, las herramientas, la transformación de los metales, la construcción, la rueda, la imprenta, la máquina de vapor, el ferrocarril, el avión o la IA, simbolizan importantes innovaciones que han marcado el curso de la historia. En el presente, la innovación tecnológica juega un papel fundamental para promover la sostenibilidad. Buena muestra de este compromiso con la sostenibilidad puede encontrarse en los planteamientos de Aimee van Wynsberghe⁷ y Mark Coeckelberg⁸, que señalan la necesidad de impulsar el desarrollo de la inteligencia artificial sostenible (IAS). No obstante, es importante precisar que hay que completar este planteamiento, es decir, conectar la teoría con la praxis a través de un modelo de innovación caracterizado por el fortalecimiento y cultivo de habilidades cívicas y democráticas y que, al mismo

¹ Cf. Crutzen, P. y E. Stoermer, "The 'Anthropocene'", pp. 17-18.

² Cf. López, F., "La interacción Humanidad-Tierra: el Antropoceno", pp. 71-124.

³ Cf. Organización de Naciones Unidas, *Objetivos de Desarrollo Sostenible*.

⁴ Cf. Schwab, K., *La cuarta revolución industrial*.

⁵ Cf. Morozov, E., *La locura del solucionismo tecnológico*.

⁶ Cf. Ellul, J., *La edad de la técnica*; cf. Ortega y Gasset, J., *Meditación de la técnica*.

⁷ Van Wynsberghe, A., "Sustainable AI: AI for Sustainability and the Sustainability of AI", pp. 213-218.

⁸ Coeckelbergh, M., "AI for Climate: Freedom, Justice, and Other Ethical and Political Challenges", pp. 67-72.

tiempo, muestre un interés por el cuidado y la sostenibilidad ambiental. Este será el objetivo principal de este trabajo, a saber, ofrecer un modelo de innovación ético para el desarrollo de la IAS.

Este modelo para una IAS supone una doble apuesta. En primer lugar, responde a los llamados de una mayor implicación de la sociedad civil en la construcción de la ciencia, a través de la interacción ciencia-política-sociedad⁹, en lo que ha venido a llamarse ciencia posacadémica¹⁰ y que sirve para reducir la brecha entre quienes crean, regulan y emplean la IA mediante una democratización de la innovación¹¹. Y, en segundo lugar, articula una innovación inter y transdisciplinaria entre diversas esferas que reconoce la importancia de promover un desarrollo sostenible que no constituya una amenaza para los límites planetarios¹².

1. Cuarta Revolución Industrial y tecnologías disruptivas

El término “Cuarta Revolución Industrial” fue empleado por Klaus Schwab, fundador del Foro Económico Mundial, en su obra *La cuarta revolución industrial*. Con este término designa un periodo marcado por el arraigo de tecnologías como la IA, los vehículos autónomos, el Internet de las Cosas o el Big Data, entre otras. Unas tecnologías que se han convertido rápidamente en una parte esencial del trabajo diario en instituciones como la universidad, la empresa privada o la administración pública.

En el año 2016 se celebró la reunión anual del Foro Económico Mundial en Davos, Suiza, un momento que Schwab aprovechó para presentar por primera vez su visión de la Cuarta Revolución Industrial. En este evento apuntó que el aspecto diferenciador entre la nueva revolución y las precedentes se encuentra en la profundidad que ha experimentado el proceso de fusión entre la tecnología y la vida humana, y también en su velocidad. Este periodo se caracteriza por la convergencia de diversas tecnologías emergentes de carácter digital, físico y biológico que están transformando el mundo, como se muestra en la siguiente imagen:

410

⁹ Cf. Comisión Europea, *White Paper on Citizen Science in Europe*; cf. Comisión Europea, *Citizen Science. Shaping Europe's Digital Future*.

¹⁰ Cf. Ziman, J., “Postacademic Science”: Constructing Knowledge with Networks and Norms”, pp. 67-80; cf. Ziman, J., *Real Science: What It Is, and What It Means*.

¹¹ Cf. Von Hippel, E., *Democratizing Innovation*, 2005.

¹² Cf. Kartha, S. y otros, *A Copenhagen Prognosis: Towards a Safe Climate Future. A Synthesis of the Science of Climate Change, Environment and Development*; cf. Steffen, W. y otros, “Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet”.

Imagen 1: Tecnologías que impulsan la Cuarta Revolución Industrial¹³

DIGITAL



Technologies based on computer, electronics and communication sciences, which make use of the increasing volume of information and connectedness of physical resources

Artificial Intelligence		Internet of Things
Machine Learning	Cloud/Edge	M2M Comm.
Machine Vision	Big Data Analytics	Mobile Devices
Blockchain	Digital Anchors	Digital Twin

PHYSICAL



Technologies based on basic properties of materials, energy, forces of nature and their interactions

3D Printing	Robotics	Energy Storage
Energy Harvesting	Nano-technology	Spectroscopy
Physical Markers	AR/VR	Carbon Capture & Storage
	Material Science	

BIOLOGICAL



Technologies based on biological aspects, including, but not limited to, biological systems and living organisms (or derivatives thereof), to make products and processes for specific uses

Bio-energy	Bio-based Materials	Genetic Engineering
DNA Marking	Cellular & Tissue Engineering	Hydroponics & Aeroponics

Para comprender el trasfondo de esta revolución es importante dirigir la atención al concepto de convergencia, pues en él radica otro de los aspectos fundamentales de este periodo histórico. La convergencia establece un espacio de encuentro entre diversos desarrollos tecnológicos que promueven la transición hacia nuevos sistemas económicos, políticos, sociales y culturales.

A pesar de las diferencias existentes entre los periodos revolucionarios acontecidos en la historia, es preciso destacar una coincidencia notoria. Como señala Jacques Ellul en su obra *La edad de la técnica*, la persecución de la innovación, traducida en numerosas ocasiones en avances técnicos, siempre ha constituido una de las fuerzas impulsoras del progreso¹⁴. Mientras que

¹³ Lacy, P. y otros, *The Circular Economy Handbook*, p. 45.

¹⁴ Cf. Ellul, J., *La edad de la técnica*.

unos avances técnicos tienen su origen en el plano teórico, otros resultan del esfuerzo práctico, aunque es importante destacar que un número significativo ha surgido a tenor de descubrimientos imprevistos. Con independencia de la naturaleza de estas tecnologías, el empeño en la innovación ha ampliado un horizonte de nuevas posibilidades, descubriendo parcelas de la realidad anteriormente desconocidas y sentado las bases para un nuevo periodo en la historia de la humanidad. A este tipo de tecnologías se las denomina “tecnologías emergentes”, pues son el resultado de un proceso que es o aspira llegar a ser importante y prominente¹⁵. Rotolo y otros¹⁶ realizan un ejercicio de síntesis en el que identifican los atributos principales de este tipo de tecnologías y subrayan los siguientes: novedad radical, crecimiento relativamente rápido, coherencia, impacto prominente e incertidumbre y ambigüedad. Por consiguiente, las tecnologías disruptivas se encuentran en la estela de las emergentes.

En el texto *Disruptive Technologies: Catching the Wave*, los profesores del Harvard Business School, Joseph Bower and Clayton Christensen, distinguieron dos tipos de innovaciones tecnológicas. Por un lado, identificaron las tecnologías de mantenimiento, encargadas de procurar el ritmo de mejoras, es decir, orientadas a un incremento de las mejoras de un determinado producto tecnológico preexistente. Y, por otro lado, explicitaron los rasgos fundamentales de las tecnologías disruptivas de carácter revolucionario y detonantes del desplazamiento de otras tecnologías previas¹⁷. Este tipo de tecnologías disruptivas estimulan la creación de procesos y valores comerciales. En particular, la propuesta de valor formulada por la disrupción es abrumadora en términos mercantiles. En ese sentido, constituyen un desafío para la gestión, en vista de los cambios y posibilidades que conllevan, exigiendo el desarrollo de nuevas estrategias. El avance de las tecnologías de la información a partir de la década de 1950, y el despegue de Internet desde 1995, han propiciado un aumento de la velocidad y la profundidad de los cambios¹⁸. A este respecto, la IA se ha convertido en una de las tecnologías disruptivas más importantes de la actualidad, al asumir el protagonismo sobre el que pivota la Cuarta Revolución Industrial, acelerando las transformaciones y conduciendo a la sociedad a un escenario

¹⁵ Cf. Stevenson A. y C.A. Lindberg, *New Oxford American Dictionary*.

¹⁶ Cf. Rotolo, D. y otros, “What is an Emerging Technology?”, pp. 1827-1842.

¹⁷ Cf. Bower, J.L. y C.M. Christensen, “Disruptive Technologies: Catching the Wave”, pp. 43-53.

¹⁸ Cf. Lucas, H., “Disruptive Technology”.

de comprometedoras controversias y problemáticas¹⁹, al igual que ocasionando el surgimiento de diversos cuestionamientos éticos sobre su desarrollo, como se apreciará a continuación.

2. Inteligencia artificial y sostenibilidad

Con el propósito de dar comienzo a la problematización que se desarrollará en este apartado en torno a la IA, es importante concretar una definición de esta tecnología disruptiva. La necesidad de esta precisión se plantea en vista de las numerosas definiciones que han sido formuladas. Margaret A. Boden define la IA de la siguiente manera: “La inteligencia artificial (IA) tiene por objeto que los ordenadores hagan la misma clase de cosas que puede hacer la mente. Algunas (como razonar) se suelen describir como ‘inteligentes’. Otras (como la visión), no. Pero todas entrañan competencias psicológicas (como la percepción, la asociación, la predicción, la planificación, el control motor) que permiten a los seres humanos y demás animales alcanzar sus objetivos. La inteligencia no es una dimensión única, sino un espacio profusamente estructurado de capacidades diversas para procesar la información. Del mismo modo, la IA utiliza muchas técnicas diferentes para resolver una gran variedad de tareas... La IA tiene dos objetivos principales. Uno es tecnológico: usar los ordenadores para hacer cosas útiles (a veces empleando métodos muy distintos a los de la mente). El otro es científico: usar conceptos y modelos de IA que ayuden a resolver cuestiones sobre los seres humanos y demás seres vivos”²⁰.

Una vez concretada la definición de IA, es preciso identificar sus categorías. Rosario Girasa distingue entre IA Débil o Estrecha, IA General o Fuerte y Superinteligencia²¹. En primer lugar, la IA débil o estrecha se encuentra orientada a la realización de tareas singulares, pues destaca por su especialización en actividades particulares, como jugar al ajedrez contra expertos humanos²², la predicción de ventas en la empresa, la conducción de vehículos autónomos²³, etcétera. El empleo de expresiones como “débil” o “estrecha” se

¹⁹ Cf. Rouhiainen, L., *Inteligencia artificial. 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*; cf. Walsh, T., *Android Dreams: The Past, Present and Future of Artificial Intelligence*.

²⁰ Boden, M.A., *Inteligencia artificial*, pp. 11-12.

²¹ Cf. Girasa, R., *Artificial Intelligence as a Disruptive Technology. Economic Transformation and Government Regulation*.

²² Cf. McGrath, T. y otros, *Acquisition of Chess Knowledge in AlphaZero*.

²³ Cf. Terrones Rodríguez, A.L., “Una aproximación general al desarrollo de los coches autónomos”, pp. 153-175.

debe a la respuesta limitada y concreta que ofrece esta categoría de IA. En segundo lugar, la IA Fuerte designa a un tipo de intelecto sintético que persigue un nivel superior de progresión en torno a la emulación del cerebro humano por medio de la configuración de redes neurales artificiales²⁴. Y, en tercer lugar, se encuentra la superinteligencia, que ha despertado el interés de investigadores como James Barrat, Max Tegmark, Nick Bostrom o Ray Kurzweil, quienes examinan las potencialidades de los intelectos sintéticos en diversas esferas de la vida humana²⁵.

Landong Winner advierte del carácter modulador de la tecnología como resultado de su dimensión moral y política²⁶. Por esta razón, es conveniente asumir que la IA nos sitúa en un escenario atravesado por numerosos desafíos²⁷. Luciano Floridi señala que las tecnologías disruptivas han favorecido la aparición de numerosos conflictos éticos en la infoesfera²⁸, dando lugar al planteamiento de cuestiones relativas a su diseño, desarrollo e implementación, pues es importante insistir en que la tecnología no debe presumir de neutralidad axiológica, debido a su contribución en la modificación de la agencia del ser humano²⁹. Entre los desafíos éticos de la IA pueden destacarse los siguientes.

Los sesgos se han convertido en uno de los problemas más notorios del desarrollo de la IA. Stephen Cave y Kanta Dihal han abordado este desafío, señalando que la blanquitud es un elemento predominante en el ámbito de los intelectos sintéticos³⁰. Las múltiples representaciones de la IA a la que estamos acostumbrados en algunos medios como el cine, la televisión, los robots, chatbots o asistentes virtuales, entre otros, evidencian este fenómeno. Cave y Dihal afirman que esta racialización de la IA favorece la supresión en el imaginario colectivo de otros rasgos físicos que caracterizan al ser humano, ocasionando el

²⁴ Cf. Kasabov, N.K., "Artificial Neural Networks. Evolving Connectionist Systems", pp. 39-83.

²⁵ Cf. Barrat, J., *Our Final Version. Artificial Intelligence and the End of the Human Era*; cf. Tegmark, M., *Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence*; cf. Bostrom, N., *Superinteligencia, caminos, peligros, estrategias*; cf. Kurzweil, R., *La singularidad está cerca. Cuando los seres humanos trascendamos la biología*.

²⁶ Cf. Winner, L., *La ballena y el reactor. Una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología*.

²⁷ Cf. Ausin Diez, T., "¿Por qué ética para la Inteligencia Artificial? Lo viejo, lo nuevo y lo espurio. Sociología y tecnociencia", pp. 1-16.

²⁸ Cf. Floridi, L., "Soft Ethics and the Governance of the Digital", pp. 1-8. La infoesfera es para Floridi un ecosistema caracterizado por la actuación y relación informacional que desdibuja la delgada línea roja de las diferencias entre lo humano y lo artificial (cf. Floridi, L., *The Fourth Revolution. How the Infosphere is Reshaping Human Reality*).

²⁹ Cf. Toboso, M. y M. Aparicio, "Entornos de funcionamientos robotizados. ¿Es posible una robótica inclusiva?", pp. 171-185.

³⁰ Cf. Cave, S. y K. Dihal, "The Whiteness of AI", pp. 685-703.

surgimiento de nuevos prejuicios y el reflejo de nuevas formas de injusticia real. Otro desafío ético relevante es el referido a la transparencia y la explicabilidad, en vista de la opacidad de los sistemas artificiales que dificulta la comprensión ciudadana³¹. La Comisión Europea (CE) asumió que esta tecnología supone un detonante de problemáticas y controversias, e impulsó la constitución del grupo de expertos de alto nivel sobre IA para sentar las bases de un ecosistema fiable³² y asegurar un desarrollo humanocéntrico comprometido con la transparencia y la ciencia ciudadana³³.

Otro de los fenómenos generador de controversias y problemáticas de carácter ético se sitúa en el terreno de las profesiones, y hace referencia a los efectos de la automatización vinculados a la gobernanza y el impacto económico³⁴. Asimismo, es importante destacar el desarrollo de los UAV (siglas en inglés de *Unmanned Aerial Vehicle*) que han ocasionado la aparición de la denominada “deshumanización de la guerra”³⁵ y el inicio de una etapa posheroica³⁶. Otra tecnología que guarda similitud con los UAV son los coches autónomos³⁷. Por último, la IA también ha adquirido protagonismo en el ámbito de las tecnologías de mejoramiento a través del movimiento transhumanista³⁸.

Debido a la importancia que en este trabajo se le concede a la sostenibilidad, es importante hacer hincapié en uno de los desafíos éticos recientes de la IA. El preocupante proceso de degradación ambiental experimentado por el planeta Tierra durante las últimas décadas ha estimulado la investigación de la filósofa alemana Aimee van Wynsberghe, iniciando un debate ético sobre la necesidad de promover el desarrollo de una inteligencia artificial sostenible

³¹ Cf. Ribeiro, M.T. y otros, “*Why Should I Trust You?*”: *Explaining the Predictions of Any Classifier*.

³² Cf. Grupo de expertos de alto nivel sobre IA, *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*.

³³ Cf. Comisión Europea, *White Paper on Citizen Science in Europe*; cf. Comisión Europea, *Citizen Science. Shaping Europe’s Digital Future*.

³⁴ Cf. Floridi, L., “Robots, Jobs, Taxes, and Responsibilities”; cf. Smids, J. y otros, “Robots in the Workplace: a Threat to –or Opportunity for– Meaningful Work?”, pp. 503-522; cf. Terrones Rodríguez, A.L., “La necesidad de una mirada ética responsable frente al impacto de la inteligencia artificial en el campo profesional”, pp. 65-87.

³⁵ Singer, P.W., *Wired for War: The Robotics Revolution and 21st Century Conflict*.

³⁶ Cf. Coker, C., *Future War*.

³⁷ Cf. Kumar Amara, D. y otros, “A Brief Survey on Autonomous Vehicle Possible Attacks, Exploits and Vulnerabilities”; cf. Rouhiainen, L., *Inteligencia artificial. 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*; cf. Massachusetts Institute of Technology, *Moral Machine*; cf. Moisés, B.A., “Consideraciones jurídicas acerca del coche autónomo”; cf. Terrones Rodríguez, A.L., “Una aproximación general al desarrollo de los coches autónomos”.

³⁸ Cf. Bostrom, N. y A. Sandberg, “El mejoramiento como desafío práctico”, pp. 391-435; cf. Diéguez, A., *Transhumanismo. La búsqueda tecnológica del mejoramiento humano*.

(IAS). Organizaciones como la *World Meteorological Organization*³⁹ advierten de la grave situación que atraviesa la biosfera con la ruptura del equilibrio de los ecosistemas, el aumento de los niveles de contaminación, el cambio climático, etcétera. Esta situación supone un llamado de emergencia para un desarrollo sostenible de las tecnologías disruptivas, entre las que se encuentra la IA. Asimismo, el filósofo Mark Coeckelbergh también recoge la gravedad de esta situación, y plantea la necesidad de impulsar un desarrollo de los intelectos sintéticos respetuoso ambientalmente⁴⁰.

La investigación llevada a cabo por Anders Andrae señala que el procesamiento de datos suministrados a la IA puede representar, para el año 2025, el 10% del consumo total de energía eléctrica⁴¹. A este elevado consumo hay que sumar la intención de incrementar la inversión en IA⁴². Esta información constituye un emplazamiento para sentar las bases de un cambio de matriz productiva que surja de una innovación sostenible⁴³. Así pues, es preciso prescindir de determinadas actividades de la IA que provocan una carga ética difícil de evitar⁴⁴, ya que el coste ambiental no puede ser justificado en relación con los beneficios que reportan los sistemas artificiales en materia de eficiencia y optimización, como señala van Wynsberghe⁴⁵.

A pesar de la riqueza teórica de la propuesta de van Wynsberghe para el planteamiento de una IAS, es oportuno proponer un complemento a través de un aterrizaje conceptual que contribuya a una realización práctica. En ese sentido, en aras de conectar la teoría con la praxis, es importante situar el debate en torno a la dinámica de la innovación en el ámbito de la IA.

En el contexto europeo, durante los últimos años fue impulsado el programa *Horizonte 2020* (H2020)⁴⁶, compuesto por un conjunto de lineamientos, entre los que es posible destacar “Ciencia con y para la Sociedad”. En este lineamiento es planteado el modelo de Investigación e Innovación

³⁹ Cf. World Meteorological Organization, *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019*, 2020.

⁴⁰ Cf. Coeckelbergh, M., “AI for Climate: Freedom, Justice, and Other Ethical and Political Challenges”, pp. 67-72.

⁴¹ Cf. Andrae, A., *Total Consumer Power Consumption Forecast*.

⁴² Cf. Ammanath, B. y otros, “Thriving in the era of pervasive AI”; cf. Joshi, N., “How We Can Build Trustworthy AI”.

⁴³ Cf. Schwartz, R. y otros, *Green AI*.

⁴⁴ Cf. Strubell, E. y otros, “Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP”.

⁴⁵ Cf. Van Wynsberghe, A., “Sustainable AI: AI for Sustainability and the Sustainability of AI”, p. 216.

⁴⁶ Cf. Comisión Europea, *Horizon 2020*.

Responsables (RRI, siglas en inglés de *Responsible Research and Innovation*)⁴⁷: un modelo sostenido sobre la configuración de una nueva relación entre la sociedad, la investigación y la innovación⁴⁸. En la web de H2020 se señala lo siguiente acerca del RRI: “implica que los actores de la sociedad (investigadores, ciudadanos, responsables políticos, empresas, organizaciones del tercer sector, etc.) trabajen juntos durante todo el proceso de investigación e innovación para alinear mejor tanto el proceso como sus resultados con valores, necesidades y expectativas de la sociedad”⁴⁹. Uno de los principales aspectos que subyace en la RRI es el interés en una gobernanza ética de la ciencia, la investigación y la innovación. Principalmente apunta a una gobernanza deliberativa y participativa que aspira a la democratización de la I+D+i. Asimismo, cultiva una responsabilidad compartida entre los diversos actores y esferas que configuran el proceso de innovación en favor de una integración social⁵⁰.

El modelo RRI aporta una mirada responsable sobre la innovación que habría que articular con una respuesta al llamado de sostenibilidad que está presente en el planteamiento de la IAS de van Wynsberghe⁵¹. Por lo tanto, en el siguiente apartado se llevará a cabo un recorrido por los antecedentes de un modelo de innovación que culmina en la llamada “quintuple hélice” y constituye una apuesta para posibilitar la IAS.

3. Innovación social y sostenible

Para formular la propuesta de un modelo de innovación que contribuya a la articulación del concepto de IAS mediante la conexión de la teoría con la praxis, es preciso señalar los antecedentes del modelo de la quintuple hélice (QH), situados en la triple hélice (TH) y en la cuádruple hélice (CH).

⁴⁷ Los principales relatos sobre el modelo RRI que han adquirido una presencia más notoria son los siguientes: Geoghegan-Quinn, M., “Commissioner Geoghegan-Quinn Keynote Speech at the ‘Science in Dialogue’ Conference, Odense, 23–25 April 2012” (actual comisaria europea de Investigación, Innovación y Ciencia); Von Schomberg, R., “A Vision of Responsible Research and Innovation”; Stilgoe, J. y otros, “Developing a Framework for Responsible Innovation”; Van den Hoven, J., “Responsible Innovation: A New Look at Technology and Ethics”.

⁴⁸ Cf. Von Schomberg, R., *Towards Responsible Research and Innovation in the Information and Communication Technologies and Security Technologies Fields*.

⁴⁹ Comisión Europea, *Horizon 2020*.

⁵⁰ Cf. Timmermans, J., “Responsible Research and Innovation”.

⁵¹ Cf. Van Wynsberghe, A., “Sustainable AI: AI for Sustainability and the Sustainability of AI”, pp. 213-218.

La expresión “Triple Hélice” (TH) fue utilizada originalmente por Henry Etzkowitz y Loet Leydesdorff para designar un modelo centrado en la innovación⁵². Inicialmente, la contribución de este modelo a los estudios sobre innovación destacaba el papel de la universidad en la transición hacia una sociedad del conocimiento. Posteriormente, Etzkowitz y Leydesdorff⁵³ enfocaron la triple hélice en la innovación en el ámbito empresarial. Y, finalmente, en 2008, tras la publicación de *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*, aportaron una visión más integral a este modelo⁵⁴. No obstante, es apropiado señalar que ya en 1983 y 1993, Etzkowitz publicó dos artículos en los que anticipó lo que finalmente se conocería como la TH.

Etzkowitz y Leydesdorff concretaron las tres esferas que están presentes y operan en los procesos de desarrollo en la sociedad basada en el conocimiento: en primer lugar, el mercado; en segundo lugar, los gobiernos y sus instituciones a distintos niveles; y, en tercer lugar, el ámbito académico, con una presencia destacada de la universidad⁵⁵. Cuando estas tres esferas se comunican entre sí, dan lugar a una sinergia que hace posible la innovación y el desarrollo. Los puntos básicos de este modelo fueron sintetizados por Etzkowitz de la siguiente manera:

1. Surgimiento de transformaciones internas en las esferas de la triple hélice.
2. Vínculo de influencia creciente entre las esferas.
3. Cultivo de la cooperación y desarrollo de la hibridación a través del tejido de redes de trabajo colaborativo.
4. Generación y capitalización de conocimientos que favorecen la aparición de nuevas transformaciones internas en las esferas⁵⁶.

La TH es planteada sobre la novedad del establecimiento de vínculos entre las esferas para promover la innovación⁵⁷, los cuales ofrecen como

⁵² Cf. Etzkowitz, H. y L. Leydesdorff, “The Triple Helix–University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development”, pp. 14-19.

⁵³ Cf. Etzkowitz, H. y L. Leydesdorff, “The Dynamics of Innovation: From National Systems and ‘Mode 2’ to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations”, pp. 109–123.

⁵⁴ Cf. Etzkowitz, H., *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*.

⁵⁵ Cf. Etzkowitz, H. y L. Leydesdorff, “The Triple Helix–University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development”, pp. 14-19.

⁵⁶ Cf. Etzkowitz, H., “Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations”, pp. 301-302.

⁵⁷ Cf. Etzkowitz, H. y L. Leydesdorff, “The Dynamics of Innovation: From National Systems and ‘Mode 2’ to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations”, pp. 112-113.

resultado la sinergia que estimula el desarrollo de las esferas e impulsa la innovación⁵⁸.

La TH no estuvo exenta de críticas, pues figuras como John Ziman cuestionaron el interés aperturista que se encuentra en la base de este modelo al considerar que pone en peligro el carácter comunitario, universal, objetivo y la originalidad del conocimiento científico. Esta crítica surgió con motivo de la apuesta de la TH por investigaciones más locales y concretas, y por una apertura de la ciencia a otras esferas como la política y el mercado. Para Ziman, el carácter aplicado de la ciencia que impregna este modelo está más enfocado en la solución de problemas concretos que en la producción de un conocimiento universal⁵⁹. Terry Shinn es otra figura destacada que formula una serie de críticas. En primer lugar, su posición pretende desacreditar la calidad bibliográfica de los postulados de la TH haciendo hincapié en la escasa bibliografía científica publicada⁶⁰. En segundo lugar, aunque reconoce la base empírica del postulado de Etzkowitz y Leydesdorff, cuestiona que sus resultados puedan generalizarse debido al carácter concreto y localista de sus investigaciones. Por su parte, Aant Elzinga sospecha de las relaciones establecidas en la TH entre la academia y otros grupos que pueden tener intereses, dudosamente, científicos⁶¹. Cuestiona una posible subordinación de la ciencia a los intereses políticos e industriales, advirtiendo que las disciplinas científicas empobrecen su carácter científico en favor del cultivo de la inter y transdisciplinariedad. En definitiva, la TH ha sido objeto de críticas como consecuencia de un reclamo de la autonomía científica respecto a otras esferas de poder; la subestimación del trabajo inter y transdisciplinar; la observación de la ciencia aplicada como un empobrecimiento y amenaza para la ciencia básica; una falta de reconocimiento de la necesidad de situar los problemas sociales y su resolución como una prioridad en el contexto de la innovación; así como de un menosprecio a las potencialidades que posee la sinergia y el encuentro entre esferas y saberes entrelazados. Finalmente, es importante señalar que, aunque estas críticas estuvieron dirigidas a la TH, debido a la particularidad que presentan también pueden aplicarse a la CH.

⁵⁸ Cf. Etzkowitz, H. y L. Leydesdorff, "The Dynamics of Innovation: From National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations", p. 112.

⁵⁹ Cf. Ziman, J., "Postacademic Science: Constructing Knowledge with Networks and Norms", p. 71.

⁶⁰ Cf. Shinn, T., "The Triple Helix and New Production of Knowledge: Prepackaged Thinking on Science and Technology", p. 601.

⁶¹ Cf. Elzinga, A., "The New Production of Reductionism in Models Relating to Research Policy", p. 278.

El progreso moral experimentado por las sociedades durante las últimas décadas y la consolidación de las democracias liberales en diversos lugares del planeta donde la sociedad civil se erige como un sujeto político decisivo, puso de manifiesto que la naturaleza de la innovación de la TH posee ciertas limitaciones en lo que respecta al fortalecimiento del vínculo social. Por esta razón, tomó fuerza la innovación social como un elemento esencial para la generación de conocimiento científico y tecnológico, y como resultado de la búsqueda de una innovación que permita agregar valor a las sociedades y sus problemas. En este sentido, la motivación social de la innovación no debe entenderse al margen de la ética⁶². A este respecto, Joan Fontrodona señala la estrecha relación existente entre la innovación y la ética que puede ayudar a comprender mejor el valor de la innovación social. Ofrece una visión positiva e integral de la ética, describiendo la naturaleza colaborativa presente en la innovación y su contribución al reconocimiento y análisis de los problemas. En consecuencia, es posible afirmar que es deseable integrar la ética en la innovación: en primer lugar, para pensar las implicaciones del desarrollo científico tecnológico y plantear nuevos interrogantes a la idea de progreso; y, en segundo lugar, en virtud de la naturaleza colaborativa de la innovación, es esencial poner en valor su dimensión social⁶³.

Las exigencias planteadas a la TH para un fortalecimiento integral y social de la innovación fueron atendidas mediante la integración de una cuarta esfera, representada por la comunidad y su lugar en la sociedad civil. El concepto de innovación social ha experimentado una constante evolución durante los siglos XX y XXI. James B. Taylor llevó a cabo una primera aproximación a este concepto, considerándolo como una nueva forma de actuar, con el interés de responder al llamado de atención de las necesidades sociales, entre las que se encontraban la pobreza o la delincuencia, en sus inicios⁶⁴. Esta visión de la innovación social se enfocaba mayormente en el resultado y no tanto en el

⁶² La definición de ética planteada en este trabajo es la que proporcionan Adela Cortina y Emilio Martínez Navarro. Para estas figuras de la filosofía moral española, la ética es un tipo de saber construido racionalmente, empleando rigor conceptual y métodos de análisis y explicación pertenecientes al ámbito filosófico. En este sentido, la ética reflexiona sobre cuestiones morales y se encarga de promover conceptos y argumentos que contribuyen a la comprensión de la dimensión moral del ser humano. No obstante, es importante aclarar que el interés por comprender la moralidad no implica reducir esta dimensión a aspectos psicológicos, sociológicos, económicos o de cualquier otro tipo (cf. Cortina, A. y E. Martínez Navarro, *Ética*, p. 9).

⁶³ Cf. Fontrodona, J., "The Relation between Ethics and Innovation", pp. 27-28.

⁶⁴ Cf. Taylor, J.B., "Introducing Social Innovation".

proceso, como afirma Julie Cloutier⁶⁵. Fue a partir de los años ochenta cuando el elemento innovador cobró especial relevancia. A partir de ese momento comenzó a plantearse que la innovación no debía limitarse a los resultados, sino a las formas de enfrentar los problemas y plantear alternativas a las metodologías para su realización⁶⁶. Este nuevo planteamiento incorporaba el valor de la participación de la sociedad civil como un elemento transformador a través de prácticas encaminadas a la búsqueda de respuestas para atender las necesidades sociales⁶⁷. Posteriormente, en la década de los noventa el concepto de innovación social consolidó su aceptación en diversos ámbitos, propiciando la aparición de estudios y reflexiones. En este sentido, Luis Portales reconoce que, a pesar de existir diversas aproximaciones a este concepto, pueden encontrarse cuatro elementos comunes y fundamentales: satisfacción de necesidades, soluciones innovadoras, cambios en las estructuras y relaciones sociales y aumento de la capacidad de actuación de la sociedad civil⁶⁸. Es precisamente este último elemento de la innovación social el que sirve como detonante para el surgimiento del modelo de la cuádruple hélice (CH).

En cuanto a la importancia que se le concede a la comunidad en la CH, Serge Proulx y Guillaume Latzko-Toth recuerdan que su raíz etimológica procede del término “*communis*”, derivado, a su vez, de “*cum*” (“con”, “conjuntamente”) y “*munus*” (“carga”, “deuda”)⁶⁹. Este dato pone de manifiesto una relación social caracterizada por la existencia de obligaciones mutuas. En este sentido, *communis* se sostiene sobre la noción de comunión, vinculado al acto de compartir y fijar una situación en un conjunto. Por otro lado, Amitai Etzioni afirma que la definición de comunidad se erige sobre dos pilares fundamentales: en primer lugar, un conjunto de relaciones afectivas reforzadas recíprocamente entre un grupo de individuos; y, en segundo lugar, la existencia de un compromiso conjunto con elementos compartidos, entre los que se encuentran valores, normas, significados, historia e identidad, en definitiva, con una cultura⁷⁰.

⁶⁵ Cf. Cloutier, J., *Qu'est-ce que l'innovation sociale?*

⁶⁶ Cf. Chambon, J.-L. y otros, *Les innovations sociales*.

⁶⁷ Cf. Baker, S. y A. Mehmood, “Social Innovation and the Governance of Sustainable Places”, p. 323.

⁶⁸ Cf. Portales, L., *Social Innovation and Social Entrepreneurship*, p. 4.

⁶⁹ Cf. Proulx, S. y G. Latzko-Toth, “La virtualité comme catégorie pour penser le social: l'usage de la notion de communauté virtuelle”, pp. 99-122.

⁷⁰ Cf. Etzioni, A., *La nueva regla de oro. Comunidad y moralidad en una sociedad democrática*, p. 157.

Aclarado el concepto de comunidad, es necesario situarlo en el contexto de la sociedad del conocimiento y la información en su relación con la sociedad civil. En la obra *Developing Democracy: Towards Consolidation*, Larry Diamond⁷¹ define a la sociedad civil a partir de cuatro aspectos fundamentales:

1. Dirige sus esfuerzos hacia fines de naturaleza pública y no estrictamente privados.
2. Construye una relación con el Estado, sin pretensiones de reemplazarlo en lo relativo al control, sino persiguiendo una influencia en los poderes políticos institucionales.
3. Se construye a partir del respeto a la pluralidad y la diversidad, incorporando intereses que emanan de diversos grupos.
4. Se diferencia del concepto de *sociedad cívica*, pues este hace referencia a la cooperación y la reciprocidad voluntaria entre individuos, sin la necesidad de trascender socialmente.

El reclamo de una cuarta esfera, señalado anteriormente, responde a la necesidad de aumentar la capacidad de la sociedad civil, su participación y acceso a los recursos para satisfacer necesidades. En tal sentido, la innovación social debe promover el empoderamiento de diversos grupos de interés, especialmente de aquellos que son excluidos. Este empoderamiento favorece la configuración de una sociedad más democrática y resiliente, es decir, con mayor capacidad de influencia. La CH ha respondido a las exigencias de un mayor protagonismo de la sociedad civil incorporando una cuarta esfera. Sin embargo, los actuales desafíos ambientales constituyen un llamado que debe ser atendido con un modelo de innovación que no incorpore únicamente criterios sociales, sino también de sostenibilidad. Esto permitiría fortalecer aún más el carácter integral de un modelo de innovación sensible con la realidad y posibilitar el desarrollo de la IAS. Por ello, es apropiado integrar una quinta esfera a este modelo, con el propósito de recoger las demandas del cultivo de la sostenibilidad y el cuidado ambiental.

La QH responde también al llamado de la CE para promover un desarrollo sostenible a través de modelos de innovación surgidos de una transición socioecológica como uno de los desafíos actuales más importantes en Europa⁷². Este modelo representa una novedad en lo relacionado a la integración de criterios

⁷¹ Cf. Diamond, L., *Developing Democracy: Towards Consolidation*, pp. 223-227.

⁷² Cf. Comisión Europea, *Green Paper on Innovation*; cf. Comisión Europea, *The World in 2025: Rising Asia and Socio-ecological Transition*; cf. Comisión Europea, *Pacto verde europeo*.

de responsabilidad con una dimensión planetaria. Además de reconocer la importancia del carácter social de la innovación, recogiendo el testigo de la CH, prioriza la atención a nuevos factores y variables que habitualmente no son considerados como resultado de la aceleración propia de un sistema económico y productivo capitalista. Debido al empeoramiento de la biosfera, la responsabilidad en la innovación debe nutrirse de una perspectiva más amplia de carácter planetario. Elias G. Carayannis y David F. J. Campbell⁷³, junto a Thorsten D. Barth⁷⁴, defienden un modelo de innovación de quintuple hélice que promueve un compromiso con el medioambiente y las necesidades de este tiempo⁷⁵. La QH actualiza las exigencias políticas de la sociedad civil presentes en la CH, y como novedad se compromete con la sostenibilidad ambiental. Carayannis, Thorsten y Campbell señalan lo siguiente:

El modelo de quintuple hélice es un modelo de innovación que puede hacer frente a los retos actuales del calentamiento global a través de la aplicación de conocimiento saber-hacer que se centra en el intercambio social y en la transferencia de conocimiento dentro de los subsistemas de un Estado específico o Estado-Nación. El modelo de innovación de la quintuple no es lineal, y por ello combina el conocimiento, el saber hacer y el medio ambiente-sistema natural como un único marco interdisciplinario y transdisciplinario que proporciona un modelo con el que paso a paso se comprende la gestión de la calidad basada en el desarrollo efectivo para la recuperación del equilibrio con la naturaleza, y poder permitir para las generaciones futuras una vida de diversidad y pluralidad en la tierra⁷⁶.

La QH representa un espacio de innovación para el planteamiento de una IAS, pues asume el compromiso con la sostenibilidad ambiental como una oportunidad, o en palabras de Tomas Hellström, como un “nicho ecológico de innovación”⁷⁷ para la generación de conocimientos que aporten mejores modos de vida.

⁷³ Cf. Carayannis, E.G. y D.F.J. Campbell, “Triple Helix, Quadruple Helix and Quintuple Helix and How Do Knowledge, Innovation and the Environment Relate to Each Other? A Proposed Framework for a Trans-disciplinary Analysis of Sustainable Development and Social Ecology”; cf. Carayannis, E.G. y D.F.J. Campbell, “Developed Democracies Versus Emerging Autocracies: Arts, Democracy, and Innovation in Quadruple Helix Innovation Systems”.

⁷⁴ Cf. Carayannis, E.G. y otros, “The Quintuple Helix Innovation Model: Global Warming as a Challenge and Driver for Innovation”.

⁷⁵ Stern, N., *The Global Deal: Climate Change and the Creation of a New Era of Progress and Prosperity*.

⁷⁶ Carayannis, E.G. y otros, “The Quintuple Helix Innovation Model: Global Warming as a Challenge and Driver for Innovation”, p. 2.

⁷⁷ Hellström, T., “Dimensions of Environmentally Sustainable Innovation: The Structure of Eco-Innovation Concepts”, p. 158.

Conclusión

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial la IA reporta importantes beneficios como un soporte para el desarrollo de diversas actividades que destacan por un alto nivel de complejidad. Y como se ha podido comprobar a lo largo de este trabajo, también implica serios costes ambientales que se traducen en la profundización de los problemas en el Antropoceno. En este sentido, las propuestas que ofrecen van Wynsberghe y Coeckelbergh iluminan el inicio de un camino reflexivo que sirve como punto de partida para el impulso de una IAS. No obstante, están ancladas en un plano teórico y no conectan lo suficiente con un modelo de innovación concreto que sirva para poner en práctica esta idea de sostenibilidad. Así pues, la quintuple hélice constituye una apuesta, en el terreno de la praxis, para la realización de una IAS.

Como conclusión principal cabe mencionar que queda una ventana abierta para la búsqueda de una articulación real de la QH que debe contar con el compromiso, *sine qua non*, de los expertos en IA. No siempre es una tarea fácil el arrancar el compromiso a los expertos sobre una determinada materia para que abran su trabajo hacia la confluencia con otros saberes y sentires en aras del cuidado de la Tierra. Quizás, un primer paso podría consistir en promover el cultivo de la ética de la responsabilidad y el cuidado en el terreno de los intelectos sintéticos.

Bibliografía

- Ammanath, B. y otros, "Thriving in the era of pervasive AI", en: *Deloitte Insights*, (2020).
- Andrae, A., *Total Consumer Power Consumption Forecast*, (https://www.researchgate.net/publication/320225452_Total_Consumer_Power_Consumption_Forecast), 2017.
- Ausín Díez, T., "¿Por qué ética para la Inteligencia Artificial? Lo viejo, lo nuevo y lo espurio. Sociología y tecnociencia", en: *Revista digital de sociología del sistema tecnocientífico*, XI, 2 (2021), 1-16.
- Baker, S. y A. Mehmood, "Social Innovation and the Governance of Sustainable Places", en: *Local Environment*, XX, 3 (2015), pp. 321-334.
- Barrat, J., *Our Final Version. Artificial Intelligence and the End of the Human Era*, Nueva York: Thomas Dunne Books, 2015.
- Boden, M.A., *Inteligencia artificial*, Madrid: Turner Noema, 2017.
- Bostrom, N., *Superinteligencia, caminos, peligros, estrategias*, España: Todo Está en los Libros Editorial, 2016.
- Bostrom, N. y A. Sandberg, "El mejoramiento como desafío práctico", en: Bostrom, N. y J. Savulescu (eds.), *Mejoramiento humano*, España: Todo Está en los Libros Editorial, 2017, pp. 391-435.

- Bower, J.L. y C.M. Christensen, "Disruptive Technologies: Catching the Wave", en: *Harvard Business Review*, LXXIII, 1 (1995), pp. 43-53.
- Carayannis, E.G. y D.F.J. Campbell, "Triple Helix, Quadruple Helix and Quintuple Helix and How Do Knowledge, Innovation and the Environment Relate to Each Other? A Proposed Framework for a Trans-disciplinary Analysis of Sustainable Development and Social Ecology", en: *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development*, I, 1 (2010), pp. 41-69.
- Carayannis, E.G. y otros, "The Quintuple Helix Innovation Model: Global Warming as a Challenge and Driver for Innovation", en: *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 1 (2012).
- Carayannis, E.G. y D.F.J. Campbell, "Developed Democracies Versus Emerging Autocracies: Arts, Democracy, and Innovation in Quadruple Helix Innovation Systems", en: *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 3 (2014).
- Cave, S. y K. Dihal, "The Whiteness of AI", en: *Philosophy & Technology*, 33 (2020), pp. 685-703.
- Chambon, J.-L. y otros, *Les innovations sociales*, Paris: Presses Universitaires de France, 1982.
- Cloutier, J., *Qu'est-ce que l'innovation sociale?*, Montreal: CRISES, 2003.
- Coeckelbergh, M., "AI for Climate: Freedom, Justice, and Other Ethical and Political Challenges" en: *AI and Ethics*, 1 (2021), pp. 67-72.
- Coker, C., *Future War*, Cambridge: Polity, 2015.
- Comisión Europea, *Green Paper on Innovation*, (http://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com95_688_en.pdf), 1995.
- Comisión Europea, *The World in 2025: Rising Asia and Socio-ecological Transition*, (https://espas.secure.europarl.europa.eu/orbis/system/files/generated/document/en/the-world-in-2025-report_en.pdf), 2009.
- Comisión Europea, *Horizon 2020*, (<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/responsible-research-innovation#Article>), 2015.
- Comisión Europea, *White Paper on Citizen Science in Europe*, (https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/socientize_white_paper_on_citizen_science.pdf), 2015.
- Comisión Europea, *Citizen Science. Shaping Europe's digital future*, (<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/green-paper-citizen-science-europe-towards-society-empowered-citizens-and-enhanced-research>), 2017.
- Comisión Europea, *Pacto verde europeo*, (<https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>), 2019a.
- Cortina, A. y E. Martínez Navarro, *Ética*, Madrid: Ediciones Akal, 2001.
- Crutzen, P. y E. Stoermer, "The 'Anthropocene'", en: *Global Change Newsletter*, 41 (2000), pp. 17-18.
- Diamond, L., *Developing Democracy. Towards Consolidation*, Baltimore: The John Hopkins University Press, 1999.
- Diéguez, A., *Transhumanismo. La búsqueda tecnológica del mejoramiento humano*, Barcelona: Herder, 2017.
- Ellul, J., *La edad de la técnica*, Barcelona: Octaedro, 2003.

- Elzinga, A., “The New Production of Reductionism in Models Relating to Research Policy”, en: Grandin, K. y otros (eds.), *The Science-Industry Nexus. History, Policy, Implications (Nobel Symposium 123)*, Nueva York: Science History Publications/ USA, 2004, pp. 277-304.
- Etzioni, A., *La nueva regla de oro. Comunidad y moralidad en una sociedad democrática*, Barcelona: Paidós, 1999.
- Etzkowitz, H., “Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations”, en: *Social Science Information*, XLII, 3 (2003), pp. 293-337.
- Etzkowitz, H., *The Triple Helix: University-Industry-Government Innovation in Action*, Nueva York: Routledge, 2008.
- Etzkowitz, H. y L. Leydesdorff, “The Triple Helix–University-Industry-Government Relations: A Laboratory for Knowledge-Based Economic Development”, en: *EASST Review*, 14 (1995), pp. 14-19.
- Etzkowitz, H. y L. Leydesdorff, “The Dynamics of Innovation: From National Systems and ‘Mode 2’ to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations”, en: *Research Policy*, XXIX, 2 (2000), pp. 109-123.
- Floridi, L., *The Fourth Revolution. How the Infosphere is Reshaping Human Reality*, Oxford: Oxford University Press, 2014.
- Floridi, L., “Soft Ethics and the Governance of the Digital”, en: *Philosophy & Technology*, 31 (2018), pp. 1-8.
- Floridi L., “Robots, Jobs, Taxes, and Responsibilities”, en: Floridi, L. (ed.), *Ethics, Governance, and Policies in Artificial Intelligence*, Cham: Springer, 2021.
- Fontrudona, J., “The Relation between Ethics and Innovation”, en: Osburg, T. y R. Schmidpeter (eds.), *Social Innovation. Solutions for a Sustainable Future*, Berlín: Springer, 2013.
- Geoghegan-Quinn, M., “Commissioner Geoghegan-Quinn Keynote Speech at the ‘Science in Dialogue’ Conference, Odense, 23–25 April 2012”, (https://ec.europa.eu/archives/commission_2010-2014/geoghegan-quinn/headlines/speeches/2012/documents/20120423-dialogue-conference-speech_en.pdf), 2012.
- Girasa, R., *Artificial Intelligence as a Disruptive Technology. Economic Transformation and Government Regulation*, Cham: Springer, 2020.
- Grupo de expertos de alto nivel sobre IA, *Ethics Guidelines for Trustworthy AI*, 2019. Disponible en <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/ethics-guidelines-trustworthy-ai>
- Hellström, T., “Dimensions of Environmentally Sustainable Innovation: The Structure of Eco-Innovation Concepts”, en: *Sustainable Development*, 15 (2007), pp. 148-159.
- Joshi, N., “How We Can Build Trustworthy AI”, en: *Forbes*, 30 julio 2019.
- Kartha, S. y otros, *A Copenhagen Prognosis: Towards a Safe Climate Future. A Synthesis of the Science of Climate Change, Environment and Development*, (<https://media-manager.sei.org/documents/Publications/Climate-mitigation-adaptation/a20-copenhagen20prognosis.pdf>), 2009.
- Kasabov, N.K., “Artificial Neural Networks. Evolving Connectionist Systems”, en: Kasabov, N.K., (ed.), *Time-Space, Spiking Neural Networks and Brain-Inspired Artificial Intelligence*, Berlín: Springer, 2019, pp. 39-83.

- Kumar Amara, D. y otros, “A Brief Survey on Autonomous Vehicle Possible Attacks, Exploits and Vulnerabilities”, (https://www.researchgate.net/publication/328189443_A_Brief_Survey_on_Autonomous_Vehicle_Possible_Attacks_Exploits_and_Vulnerabilities), 2018.
- Kurzweil, R., *La singularidad está cerca. Cuando los seres humanos trascendamos la biología*, Berlín: Lola Books, 2016.
- Lacy, P. y otros, *The Circular Economy Handbook*, Londres: Palgrave Macmillan, 2020.
- López, F., “La interacción Humanidad-Tierra: el Antropoceno”, en: Vicente, T. (ed.), *Justicia ecológica en la era del Antropoceno*, Madrid: Trotta, 2016, pp. 71-124.
- Lucas, H., “Disruptive Technology”, en: Augier, M. y D. Teece (eds.), *The Palgrave Encyclopedia of Strategic Management*, Londres: Palgrave Macmillan, 2016.
- Massachusetts Institute of Technology, *Moral Machine*, (<https://www.moralmachine.net/>), 2016.
- McGrath, T. y otros, *Acquisition of Chess Knowledge in AlphaZero*, (<https://arxiv.org/pdf/2111.09259>), 2021.
- Moisés, B.A. “Consideraciones jurídicas acerca del coche autónomo”, en: *Actualidad Jurídica Uriá Menéndez*, 52 (2019), pp. 101-108.
- Morozov, E., *La locura del solucionismo tecnológico*, Madrid: Katz, 2015.
- Organización de Naciones Unidas, *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, (<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>), 2015.
- Ortega y Gasset, J., *Meditación de la técnica*, Madrid: Espasa-Calpe, 1965.
- Portales, L., *Social Innovation and Social Entrepreneurship*, Cham: Palgrave Macmillan, 2019.
- Proulx, S. y G. Latzko-Toth, “La virtualité comme catégorie pour penser le social: l’usage de la notion de communauté virtuelle”, en: *Sociologie et Sociétés*, XXXII, 2 (2000), pp. 99-122.
- Ribeiro, M.T. y otros, “Why Should I Trust You?": *Explaining the Predictions of Any Classifier*, (<https://arxiv.org/pdf/1602.04938>), 2016.
- Rotolo, D. y otros, “What is an Emerging Technology?”, en: *Research Policy*, XLIV, 10 (2015), pp. 1827-1842.
- Rouhiainen, L., *Inteligencia artificial. 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*, Barcelona: Editorial Planeta, 2018.
- Schwab, K., *La cuarta revolución industrial*, Barcelona: Debate, 2016.
- Schwartz, R. y otros, *Green AI*, (<https://arxiv.org/pdf/1907.10597>), 2019.
- Shinn, T., “The Triple Helix and New Production of Knowledge: Prepackaged Thinking on Science and Technology”, en: *Social Studies of Science*, XXXII, 4 (2002), pp. 599-614.
- Singer, P.W., *Wired for War: The Robotics Revolution and 21st Century Conflict*, Londres: Penguin, 2009.
- Smids, J. y otros, “Robots in the Workplace: a Threat to –or Opportunity for– Meaningful Work?”, en: *Philosophy & Technology*, 33 (2020), pp. 503-522.
- Steffen, W. y otros, “Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet”, en: *Science*, CCCXLVII, 6223 (2015), pp. 736-746.

- Stern, N., *The Global Deal: Climate Change and the Creation of a New Era of Progress and Prosperity*, Nueva York: Public Affairs, 2009.
- Stevenson A y C.A. Lindberg, *New Oxford American Dictionary*, 3ra. edición, Oxford: Oxford University Press, 2010.
- Stilgoe, J. y otros, “Developing a Framework for Responsible Innovation”, en: *Res Policy*, XLII, 9 (2013), pp. 1568–1580.
- Strubell, E. y otros, “Energy and Policy Considerations for Deep Learning in NLP”, (<https://arxiv.org/pdf/1906.02243v1>), 2019.
- Taylor, J.B., “Introducing Social Innovation”, en: *The Journal of Applied Behavioral Science*, VI, 1 (1970).
- Tegmark, M., *Life 3.0: Being Human in the Age of Artificial Intelligence*, Londres: Penguin Random House, 2017.
- Terrones Rodríguez, A.L., “La necesidad de una mirada ética responsable frente al impacto de la inteligencia artificial en el campo profesional”, en: *Revista de filosofía*, XVI, 2 (2017), pp. 65-87.
- Terrones Rodríguez, A.L., “Una aproximación general al desarrollo de los coches autónomos”, en: *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, XVI, 47 (2021), pp. 153-175.
- Timmermans, J., “Responsible Research and Innovation”, en: Filho, W.L. y otros (eds.), *Decent Work and Economic Growth. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*, Londres: Springer, 2021.
- Toboso, M. y M. Aparicio, “Entornos de funcionamientos robotizados. ¿Es posible una robótica inclusiva?”, en: *Dilemata*, 30 (2019), pp. 171-185.
- Van den Hoven, J., “Responsible Innovation: A New Look at Technology and Ethics”, en: Van den Hoven, J. y otros (eds.), *Responsible Innovation 1. Innovative Solutions for Global Issues*, Cham: Springer, 2014, pp. 3-13.
- Van Wynsberghe, A., “Sustainable AI: AI for Sustainability and the Sustainability of AI”, en: *AI and Ethics*, 1 (2021), pp. 213-218.
- Von Hippel, E., *Democratizing Innovation*, Cambridge: Massachusetts Institute of Technology Press, 2005.
- Von Schomberg, R., *Towards Responsible Research and Innovation in the Information and Communication Technologies and Security Technologies Fields*, Luxemburgo: Publications Office of the European Union, 2011.
- Von Schomberg, R., “A Vision of Responsible Research and Innovation”, en: Owen, R. y otros (eds.), *Responsible Innovation: Managing the Responsible Emergence of Science and Innovation in Society*, Hoboken: Wiley-Blackwell, 2013, pp. 51-74.
- Walsh, T., *Android Dreams: The Past, Present and Future of Artificial Intelligence*, Londres: C. Hurst & Co., 2017.
- Winner, L., *La ballena y el reactor. Una búsqueda de los límites en la era de la alta tecnología*, Barcelona: Gedisa, 2008.
- World Meteorological Organization, *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019*, Ginebra: World Meteorological Organization, 2020.

Ziman, J., “Postacademic Science’: Constructing Knowledge with Networks and Norms”,
en: *Science Studies*, IX, 1 (1996), pp. 67-80.

Ziman, J., *Real science: What It Is, and What It Means*, Cambridge: Cambridge University
Press, 2000.

Recepción: 19/03/2022

Aprobación: 25/01/2023