

María Pérez-Ortiz

*Profesora titular, Centro de Inteligencia Artificial
de University College London (Reino Unido)*

1. Introducción

En 2050, las Naciones Unidas prevén que casi el 70% de la población mundial vivirá en zonas urbanas (frente al 56% actual [ONU-Hábitat, 2022]). La urbanización del planeta avanza a un ritmo sin precedentes, por lo que los retos que enfrentan las ciudades –como la movilidad, la provisión de servicios y vivienda, la contaminación y la salud urbana, y el uso de los recursos– aumentan de manera cada vez más acuciante. Esta gran velocidad del crecimiento urbano conlleva la necesidad urgente de desarrollar soluciones innovadoras para garantizar que las ciudades sean habitables, favorables al desarrollo humano, eficientes y respetuosas con el medioambiente.

Uno de los avances más debatidos a la hora de abordar estos desafíos es la incorporación de la tecnología, en concreto la inteligencia artificial (IA), en los entornos urbanos. No obstante, a medida que se generaliza su adopción, surgen motivos de preocupación por los efectos que tiene para la sostenibilidad, tanto ambiental como social. En el presente texto se examina el concepto de IA sostenible, prestando especial atención al papel que debería desempeñar en la implementación de este tipo de tecnologías en los entornos urbanos. Además, se analizan los factores económicos, sociales y ambientales de la utilización de la IA en las ciudades, poniendo de relieve las ventajas, desafíos y tendencias de esta tecnología en la búsqueda de unos futuros urbanos equitativos y sostenibles.

2. La búsqueda de la sostenibilidad

La sostenibilidad, en particular la relativa al desarrollo, tal y como la definen actualmente las Naciones Unidas (Keeble, 1988), se refiere a la capacidad de lograr que el desarrollo satisfaga las necesidades humanas presentes y futuras (como la salud y bienestar, la educación de calidad, el trabajo digno y la igualdad social) y de conseguirlo dentro de los límites socioecológicos actuales. La sostenibilidad suele separarse en tres pilares:

La IA sostenible abarca el uso de estas tecnologías en favor de la sostenibilidad económica, ambiental y social, pero también –y es importante señalarlo– de la sostenibilidad de la propia IA, y aborda diversos motivos de preocupación, como el consumo de energía, el uso de los recursos y la equidad social, para garantizar que las soluciones de IA supongan con el tiempo una contribución positiva a la sociedad y el medioambiente.

- **Sostenibilidad ambiental:** vivir con los recursos naturales de los que disponemos, y proteger y mantener nuestros ecosistemas. En los entornos urbanos, un desafío clave es reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar la calidad del aire. Por ejemplo, las ciudades pueden implementar zonas de bajas emisiones, ampliar el transporte público y promover edificios eficientes desde el punto de vista energético para reducir la contaminación urbana y atenuar el efecto de isla térmica.
- **Sostenibilidad social:** lograr de forma sistemática un nivel adecuado de bienestar social. En las ciudades, esto suele significar fomentar la inclusión, la accesibilidad, la equidad y un modo de vida más sostenible en los procesos de urbanización. Un desafío actual es generar viviendas asequibles y garantizar el acceso equitativo a los espacios verdes, el transporte y los servicios básicos. Por ejemplo, las ciudades pueden proyectar barrios de usos múltiples en los que se pueda caminar, dar prioridad a la integración social y ajardinar zonas con especies vegetales autóctonas para incorporar entornos más ecológicos.
- **Sostenibilidad económica:** utilizar los recursos con eficiencia y responsabilidad. La dimensión económica de la sostenibilidad se centra en las economías circulares, ecológicas y justas, y no simplemente en el crecimiento económico constante. En el contexto de la sostenibilidad urbana, la atención se centra en el desarrollo de economías resilientes y con bajas emisiones de carbono. Un ejemplo de esto es el fomento de infraestructuras urbanas sostenibles que favorecen el empleo verde y los principios de la economía circular, como la creación de sistemas de movilidad urbana sostenible (p. ej., el uso compartido de bicicletas o la infraestructura de recarga de vehículos eléctricos) y el apoyo a las empresas ecológicas locales.

Pese a que el concepto de sostenibilidad suele reducirse a su pilar ambiental, los tres ejemplos anteriores de sostenibilidad económica, ambiental y social ponen de manifiesto la interconexión de todos estos elementos y la necesidad de examinarlos juntos. Como afirmó el naturalista John Muir: “Cuando intentamos seleccionar algo por sí mismo, nos damos cuenta de que está atado a todo lo demás en el Universo”. (Muir, 1911). Del mismo modo, las ciudades son sistemas complejos que requieren de análisis del sistema en su conjunto y enfoques que aborden objetivos múltiples y tomen en cuenta los pilares económico, ambiental y social.

3. La tecnología se encuentra con la sostenibilidad

¿Podrían los avances tecnológicos influir en nuestra capacidad para garantizar un futuro sostenible? (GACGC, 2019). Resulta fundamental comprender los efectos que la tecnología tiene en la sostenibilidad, sobre todo porque las tecnologías radicalmente innovadoras, como la IA, aceleran el cambio global y dirigido por el ser humano a un ritmo sin precedentes y sin una agenda unificada clara.

En los últimos años ha aparecido un conjunto nuevo de principios deseados para la sostenibilidad en relación con los sistemas de IA (Vinuesa, 2020; Van Wynsberghe, 2021). En concreto, la IA sostenible hace referencia a un marco en rápida evolución que pretende configurar

el desarrollo, la implementación y el uso de esta tecnología de manera responsable desde el punto de vista ético, social y ambiental, y aspira a encontrar un equilibrio entre los riesgos y las oportunidades que se presentan.

En esencia, la IA sostenible también considera las tres dimensiones principales de la sostenibilidad: la social, la ambiental y la económica. No obstante, es más que la suma de sus partes: la IA sostenible abarca el uso de estas tecnologías en favor de la sostenibilidad económica, ambiental y social, pero también –y es importante señalarlo– de la sostenibilidad de la propia IA (Van Wynsberghe, 2021), y aborda diversos motivos de preocupación, como el consumo de energía, el uso de los recursos y la equidad social, para garantizar que las soluciones de IA supongan con el tiempo una contribución positiva a la sociedad y el medioambiente.

Uno de los desafíos principales para desarrollar IA sostenible es afrontar su propio impacto ambiental. Los sistemas de IA, sobre todo los modelos de gran escala como los utilizados en el aprendizaje profundo, precisan una gran capacidad de cálculo, lo que se traduce en un nivel considerable de consumo de energía y emisiones de carbono. Por ejemplo, en 2019 se calculaba que el entrenamiento de un solo modelo grande de lenguaje emitía tanto carbono como cinco automóviles a lo largo de su vida útil (Strubell *et al.*, 2019), estimación que probablemente haya aumentado notablemente desde entonces. Este cálculo incluye únicamente el entrenamiento, sin tomar en cuenta los efectos de su uso (p. ej., se calcula que hacer una imagen con IA generativa consume tanta energía como cargar el teléfono [Heikkilä, 2023]). Además de las emisiones operativas, es importante tener en cuenta las incorporadas, es decir, la huella de carbono asociada con la fabricación, el transporte y el desecho del *hardware* utilizado para la IA, como los servidores y las unidades de procesamiento de gráficos (GPU, por sus siglas en inglés). La IA sostenible trata de reducir al mínimo las repercusiones ambientales, tanto operativas como incorporadas, promoviendo algoritmos más eficientes desde el punto de vista energético tales como la destilación o la cuantificación de modelos.

Otra preocupación acuciante, además de las consecuencias ambientales, es la sostenibilidad social de la IA. Si no se conciben con cuidado, los sistemas de IA pueden reforzar las desigualdades sociales existentes mediante algoritmos sesgados o un acceso desigual a este tipo de tecnologías. La IA sostenible defiende la creación de sistemas que promuevan la inclusión y la justicia sociales y garanticen que los grupos marginados no se vean perjudicados por decisiones basadas en esta tecnología en ámbitos tales como la contratación de personal, la vivienda o la justicia penal. Esto implica integrar aspectos éticos y los derechos humanos en el diseño y aplicación de la IA, con unos marcos sólidos en materia de transparencia, rendición de cuentas y gobernanza que ofrezcan protección frente a los daños involuntarios. La imparcialidad de los sistemas de IA se analiza más a fondo en el capítulo de esta monografía que trata sobre la equidad.

En lo que respecta a la sostenibilidad económica, la IA tiene potencial tanto para impulsar como para obstaculizar el desarrollo sostenible. Esta tecnología puede optimizar las infraestructuras, las redes de energía y los

La IA sostenible no consiste únicamente en disponer de un subconjunto de tecnologías concebidas expresamente para favorecer la sostenibilidad, sino en reestructurar todo el campo de la IA para garantizar que contribuya sistemáticamente al bienestar económico, ambiental y social a largo plazo.

Las tecnologías de IA de las ciudades tienen efectos significativos en el medioambiente debido a su dependencia de los centros de datos y los recursos informáticos. Un enfoque sostenible de la IA urbana implicaría la optimización de la eficiencia energética de estos sistemas.

sistemas de transporte urbano, y de este modo fomentar un uso más eficiente de los recursos y reducir el despilfarro en las ciudades. También puede facilitar la transición a una economía circular mejorando procesos tales como la gestión de las cadenas de suministro, la reducción de los residuos y la optimización del ciclo de vida de los productos. Sin embargo, si no se gestiona con cuidado, la IA puede intensificar la desigualdad económica automatizando puestos de trabajo sin crear nuevas oportunidades de empleo o aumentando la concentración de riqueza. La IA sostenible, por tanto, defiende modelos económicos basados en la IA que dan prioridad a los beneficios sociales a largo plazo frente al corto plazo y garantizan que las ganancias económicas procedentes de esta tecnología se distribuyen de forma equitativa.

Los marcos de IA sostenible proponen que se incorporen en el diseño de los sistemas de IA preguntas como (Vinuesa, 2020; Van Wynsberghe, 2021):

- ¿Qué equilibrio hay entre las repercusiones directas e indirectas que la tecnología de IA tiene en la sociedad, el medioambiente y la economía? ¿Cómo podemos diseñar sistemas de IA más sostenibles desde el principio? ¿Qué marcos de evaluación de riesgos pueden ayudarnos a prever las consecuencias no deseadas antes de que se produzcan?
- ¿Cómo podemos abordar el sistema sociotécnico más general que rodea a la IA, especialmente las repercusiones sociales para las personas que la utilizan o se ven afectadas por ella? ¿Qué medidas podemos tomar para desarrollar una IA que sea compatible con la preservación de los recursos ambientales para las generaciones actuales y futuras, favorezca modelos económicos sostenibles y respete los valores sociales fundamentales de las distintas comunidades?
- ¿Cómo podemos promover cambios a lo largo de todo el ciclo de vida de la IA –desde la generación de ideas, el entrenamiento y el perfeccionamiento hasta la evaluación, la aplicación y la gobernanza– orientados a una mayor sostenibilidad ecológica y equidad social? ¿Qué medidas son necesarias para garantizar el funcionamiento de los sistemas de IA dentro de los límites ecológicos del planeta en relación con el consumo de energía, el uso de agua dulce y la dependencia de minerales escasos, entre otros factores?

En última instancia, la IA sostenible defiende un enfoque en el que esta tecnología sea un factor multiplicador de fuerzas para lograr los objetivos de sostenibilidad y potencie los esfuerzos para mitigar el cambio climático, reducir la desigualdad y fomentar unas economías resilientes e inclusivas, al tiempo que vela por que el desarrollo y el uso de las propias tecnologías de IA respondan a los principios de sostenibilidad. Es importante reconocer que las tecnologías, incluida la IA, pueden representar riesgos extrínsecos e intrínsecos para la sostenibilidad. En el caso de los riesgos intrínsecos, e incluso cuando no se aplican directamente a los desafíos de la sostenibilidad, las tecnologías defectuosas, sin solidez o inequitativas pueden menoscabar involuntariamente los objetivos de sostenibilidad al intensificar la desigualdad, los daños ambientales o la inestabilidad económica por vías indirectas. Por tanto, la IA sostenible no consiste únicamente en disponer de un subconjunto de tecnologías concebidas expresamente para favorecer la sostenibilidad, sino en reestructurar todo el campo de la IA para garantizar que contribuya sistemáticamente al bienestar económico, ambiental y social a largo plazo.

4. IA sostenible en entornos urbanos

Aunque están empezando a aparecer nuevos marcos para la sostenibilidad de la IA (Vinuesa, 2020; Van Wynsberghe, 2021; Wu, 2022; Wilson, 2022; Nishant, 2020), actualmente hay muy pocos trabajos centrados en futuros urbanos (Yigitcanlar, 2020; Bibri, 2021; Pastor Escuredo, 2022). En este sentido, el presente texto tiene por objeto exponer un punto de vista que ilustra los fundamentos que serían necesarios para garantizar que los sistemas de IA implantados en las ciudades sean no solo tecnológicamente avanzados, sino también responsables, equitativos y beneficiosos tanto para el medioambiente como para las poblaciones urbanas.

Repercusiones ambientales de los sistemas de IA urbana. Las consecuencias ambientales, incluido –entre otros elementos– el elevado nivel de consumo de energía y uso de agua dulce, constituyen uno de los grandes desafíos de la IA (Luccioni, 2024). En entornos urbanos, donde la IA se utiliza cada vez más en aplicaciones tales como los sistemas de tráfico inteligentes, las redes de energía y la administración de edificios, el total acumulativo de las demandas de estos sistemas puede llegar a ser considerable. Las tecnologías de IA de las ciudades tienen efectos significativos en el medioambiente debido a su dependencia de los centros de datos y los recursos informáticos. Un enfoque sostenible de la IA urbana implicaría la optimización de la eficiencia energética de estos sistemas con métodos tales como el aprendizaje automático en dispositivos pequeños, las prácticas de computación ecológica en materia de ingeniería de *software*, la destilación del conocimiento, y la poda o la cuantificación de modelos. Esto también supondría aprender de conjuntos de datos más pequeños y de calidad (es decir, hacer más con menos), utilizar energías renovables, favorecer modelos de consumo y producción sostenibles y reducir al mínimo la huella de carbono del total de soluciones de IA implantadas en las ciudades. Por ejemplo, las redes inteligentes que funcionan con IA podrían ajustar de forma dinámica el uso de energía basándose en datos obtenidos en tiempo real, lo que disminuye el despilfarro y favorece la integración de fuentes de energía renovables como la solar y la eólica. El aprendizaje federado abre también una vía prometedora para la sostenibilidad de la IA urbana. En lugar de depender de centros centralizados de datos para el entrenamiento de modelos en gran escala, el aprendizaje federado permite entrenar modelos más pequeños directamente en dispositivos descentralizados, como los sensores de la Internet de las Cosas integrados en la infraestructura urbana. Este cambio reduce la necesidad de transmitir cantidades enormes de datos a servidores centralizados, con lo que se ahorra en procesos de tratamiento y almacenamiento de los datos, que consumen mucha energía. Al aprovechar los recursos informáticos locales existentes, el aprendizaje federado también reduce la demanda agregada de *hardware* nuevo y mitiga el impacto ambiental de la actividad de IA masiva. Además, este enfoque aumenta la privacidad y la seguridad de los datos al mantener la información confidencial en los dispositivos locales, y reduce la necesidad de intercambiar datos al tiempo que favorece las prácticas de IA sostenible.

Sostenibilidad social: equidad e imparcialidad. Puesto que las ciudades adoptan cada vez más la IA para el funcionamiento de servicios tales como la seguridad, la atención sanitaria y la asignación de recursos públicos, es fundamental que estos sistemas contribuyan a la sos-

La verdadera sostenibilidad social de estos sistemas también debe tener en cuenta la eticidad del proceso de su desarrollo y garantizar prácticas equitativas a lo largo de todo el ciclo de vida de la IA. De este modo se contribuye a impulsar la sostenibilidad social, fomentando ciudades más justas e inclusivas, al tiempo que se da respuesta a las desigualdades globales presentes en la producción de IA.

Para que sea sostenible en los entornos urbanos, la IA también debe ser viable a largo plazo desde el punto de vista económico, lo que implica desarrollar sistemas que se integren con facilidad en la infraestructura urbana existente, se adapten a las necesidades futuras y se conciban para un uso prolongado.

tenibilidad social promoviendo la imparcialidad, la equidad y la inclusión. En materia de ordenamiento urbano, por ejemplo, la IA sostenible podría instrumentalizarse para identificar y abordar las desigualdades, por ejemplo garantizando que los barrios desfavorecidos reciban acceso equitativo al transporte, la atención médica y la educación. No obstante, el componente social de la IA sostenible no abarca solo la finalidad de su uso, el diseño de algoritmos que minimicen el sesgo y la garantía de que las comunidades marginadas no se vean perjudicadas por las decisiones basadas en la IA, sino también la manera de abordar las implicaciones éticas del desarrollo e implementación de estos sistemas. Muchos de los programas son entrenados y mantenidos por personal escasamente remunerado y sobrecargado de trabajo de las comunidades del Sur global (Rowe, 2023), a menudo subcontratado. Esta fuerza laboral –decisiva para el entrenamiento de muchos sistemas de IA– pone de manifiesto las enormes desigualdades presentes en la cadena mundial de suministro de la IA, ya que suele soportar malas condiciones de trabajo al tiempo que asume la mayor parte de las tareas repetitivas y poco apreciadas. La verdadera sostenibilidad social de estos sistemas también debe tener en cuenta la eticidad del proceso de su desarrollo y garantizar prácticas equitativas a lo largo de todo el ciclo de vida de la IA. De este modo se contribuye a impulsar la sostenibilidad social, fomentando ciudades más justas e inclusivas, al tiempo que se da respuesta a las desigualdades globales presentes en la producción de IA.

Gobernanza ética y rendición de cuentas. Los sistemas de IA urbana deben regirse por unos marcos éticos sólidos que primen la transparencia y la rendición de cuentas. Los gobiernos municipales y las partes interesadas deben garantizar que los sistemas de IA sean explicables y que los procesos de toma de decisiones resulten claros para la ciudadanía. Este tipo de medidas generarían confianza y garantizarían que los errores o consecuencias no deseadas pudieran identificarse y abordarse con prontitud. Por ejemplo, los sistemas de IA utilizados para la vigilancia o la aplicación de la ley en las ciudades deben diseñarse con estructuras claras de rendición de cuentas que protejan la privacidad y los derechos civiles de la población. En el capítulo de esta monografía dedicado a la transparencia y la rendición de cuentas se analiza más a fondo la operativización de estos principios en los sistemas de IA.

Sostenibilidad económica en las ciudades. Para que sea sostenible en los entornos urbanos, la IA también debe ser viable a largo plazo desde el punto de vista económico, lo que implica desarrollar sistemas que se integren con facilidad en la infraestructura urbana existente, se adapten a las necesidades futuras y se conciban para un uso prolongado. Las ciudades pueden favorecer los modelos de economía circular fomentando la reutilización y reciclado de las tecnologías, los datos y el *hardware* de la IA, con lo que se reducen los residuos y se disminuyen los costes.

Alineamiento con los objetivos de sostenibilidad urbana. Los sistemas de IA implantados en las ciudades no deben limitarse a favorecer el logro de los objetivos de sostenibilidad urbana –como la disminución de la contaminación, la mejora de la salud pública y el aumento de la calidad de vida–, sino también garantizar que el uso de estas mismas tecnologías contribuya a la sostenibilidad. Una forma de conseguirlo es utilizar con nuevos fines la energía y los recursos empleados por la infraestructura de IA. Por ejemplo, utilizar el excedente de calor de los centros de datos –importante subproducto de las demandas computacionales de la

IA– puede contribuir a la sostenibilidad urbana al reducir el consumo total de energía. El proyecto Parques de Datos de Estocolmo¹ ha puesto de manifiesto que el calor residual de los centros de datos puede redirigirse para calentar los edificios residenciales y comerciales, y demostrado que la infraestructura de IA puede incorporarse en un modelo de economía circular, lo que se ajusta a los objetivos climáticos al tiempo que reduce las necesidades públicas de energía. Más allá de la eficiencia de los recursos, relacionada con la idea de la sostenibilidad de la propia IA, la IA puede servir para optimizar los sistemas urbanos de sostenibilidad. Al aprovechar estas tecnologías para mejorar la gestión de los recursos, reducir el consumo de energía y favorecer las iniciativas de resiliencia climática, las ciudades pueden hacer frente a desafíos acuciantes tales como el cambio climático y la urbanización. Por ejemplo, las zonas urbanas son especialmente vulnerables a los efectos del cambio climático, como el aumento de las temperaturas y los fenómenos meteorológicos extremos. La IA puede desempeñar un papel fundamental en el aumento de la resiliencia climática urbana facilitando análisis predictivos avanzados y sistemas de alerta temprana de riesgos relacionados con el clima; estos últimos pueden alertar a las autoridades de los posibles peligros ambientales y facilitar una respuesta rápida, contribuyendo a mitigar los efectos de la contaminación urbana sobre el medioambiente y la salud.

IA para la planificación y el desarrollo urbanos. La IA transforma la manera de planificar y desarrollar las ciudades (Jha, 2021) y fomenta una mayor sostenibilidad económica, ambiental y social. Mediante el análisis de grandes conjuntos de datos sobre el crecimiento demográfico, el uso del suelo, las modalidades de transporte y los factores ambientales, entre muchas otras aplicaciones, la IA puede ayudar a urbanistas y a las autoridades responsables a concebir ciudades más eficientes y sostenibles por medio de los denominados gemelos digitales. Por ejemplo, los modelos de IA pueden prever el efecto que tendrán los cambios en las infraestructuras –como la construcción de nuevas carreteras o los sistemas de transporte público– sobre el comportamiento del tráfico, los niveles de contaminación y el consumo de energía. Así, las instancias de planificación pueden anticiparse al futuro y realizar previsiones responsables, lo que permite tomar decisiones más fundamentadas que promuevan la sostenibilidad a largo plazo. La IA también puede servir para optimizar el uso del suelo y las políticas de zonificación, y garantizar el equilibrio entre el desarrollo urbano y la conservación de los espacios verdes y recursos naturales. Esta cuestión es especialmente importante en ciudades de rápido crecimiento, en las que la demanda de viviendas e infraestructuras suele dar lugar a la expansión urbana y la pérdida de ecosistemas valiosos. Sin embargo, más allá de su aplicación a los sistemas urbanos, es fundamental que el desarrollo e implementación de la propia IA sea compatible con las prácticas sostenibles. Aunque los gemelos digitales son herramientas potentes para simular situaciones posibles en materia de ordenamiento urbano, la sostenibilidad de estos escenarios depende de la eficiencia de los modelos de IA subyacentes y de la infraestructura de apoyo. No obstante, cabe observar que, tal y como señalan numerosos estudios (Andersson, 2021), los gemelos digitales creados con IA pueden constituir un método más eficiente desde el punto de vista de los recursos que sus simulaciones homólogas basadas en las leyes de la física, ya que se ejecutan en cuestión de segundos en las unidades centrales de procesamiento (CPU) de los ordenadores portátiles frente a la necesidad de utilizar superordenadores durante varios días.

1. <https://stockholmdataparks.com/>

5. Recomendaciones de política y observaciones finales

La innovación y la tecnología desempeñan un papel cada vez más destacado en la planificación de futuros urbanos sostenibles (ONU-Hábitat, 2022). Como se expone en el listado de recomendaciones políticas que figura a continuación, el diseño e implementación de la tecnología deben adaptarse a la gran diversidad del contexto urbano:

a. Recomendaciones sobre sostenibilidad ambiental

La urgencia por descarbonizar las economías urbanas debería impulsar la **confluencia de las tecnologías inteligentes y ecológicas**. Las políticas deberían hacer hincapié en la eficiencia energética, la preservación del medioambiente y la resiliencia. Esto incluye el establecimiento de normas ecológicas para la IA que primen los algoritmos y el *hardware* eficientes desde el punto de vista energético, así como la creación de economías circulares en torno a los centros de datos, por ejemplo reciclando el excedente de calor. Además, las políticas de gestión del ciclo de vida deberían promover el abastecimiento responsable, la reutilización y el reciclaje del *hardware* de IA a fin de reducir al mínimo los residuos electrónicos.

Las evaluaciones del impacto deberían sopesar cuidadosamente si la implementación de la **IA para los proyectos sobre sostenibilidad justifica el coste ambiental de la tecnología**, tal como señalan trabajos anteriores (Dixon, 2022). Los nuevos marcos son fundamentales para medir y comparar los costes de todo el ciclo de vida de la IA y garantizar la evaluación exhaustiva de su sostenibilidad.

Están comenzando a aparecer **marcos de clasificación energética por estrellas de la IA** (Luccioni, 2024) que deberían incorporarse a los dispositivos urbanos de la Internet de las Cosas, lo que ofrecería a las personas usuarias una información valiosa para comprender mejor las repercusiones ambientales de las herramientas que utilizan y para adoptarlas de forma más responsable.

La colaboración y las asociaciones público-privadas pueden impulsar el desarrollo de tecnologías de IA sostenible en las zonas urbanas. La creación de **consorcios de IA para lograr ciudades sostenibles** puede fomentar alianzas entre gobiernos, empresas tecnológicas e instituciones de investigación con el fin de abordar desafíos urbanos tales como la gestión de la energía, el transporte y la reducción de los residuos. Las ciudades deberían incentivar el desarrollo sostenible de la IA ofreciendo bonificaciones fiscales o subvenciones a las empresas que desarrollan soluciones de IA respetuosas con el medioambiente.

La resiliencia urbana y las infraestructuras inteligentes deberían favorecerse mediante **políticas que alienten la IA en pro de la resiliencia en materia climática y de biodiversidad**. Esto incluye el uso de sistemas de alerta temprana basados en la IA para hacer frente a las catástrofes naturales, los puntos críticos en materia de pérdida de biodiversidad y los fenómenos climáticos extremos.

b. Recomendaciones sobre sostenibilidad social

Dado que todas las dimensiones de la IA sostenible son interdependientes, la implementación responsable y ética de la IA es también un aspecto fundamental en los entornos urbanos. Los sistemas de IA deben someterse a auditorías de equidad para evitar la discriminación y la desigualdad social. La creación de **comités locales de ética en materia de IA** debería garantizar que los proyectos de IA urbana cumplan las normas sobre privacidad, equidad y responsabilidad.

La protección y la seguridad de la información son también áreas prioritarias. Deberían promulgarse **leyes firmes sobre la privacidad de los datos urbanos** a fin de proteger los datos personales recogidos por los sensores, las cámaras y las aplicaciones móviles, con medidas tales como la anonimización y el uso del consentimiento explícito. Además, se precisa disponer de marcos transparentes y seguros para el intercambio de información entre gobiernos, empresas privadas y entidades desarrolladoras de IA para garantizar un uso responsable de los datos de la ciudadanía que no ponga en riesgo la privacidad.

Para fomentar el apoyo y la comprensión de la población, las políticas deberían promover **la participación social y la alfabetización digital**. Las ciudades deberían fomentar **modelos de gobernanza participativa** que involucren a la población en los procesos de toma de decisiones sobre la IA, y poner en marcha al mismo tiempo campañas de alfabetización digital para informar a la población sobre este tipo de tecnologías y los efectos que producen, y el modo de proteger sus derechos.

Garantizar la **igualdad de acceso a los servicios públicos basados en la IA**, sobre todo para las comunidades marginadas e insuficientemente atendidas, es esencial para promover la inclusión.

Promover la **ciencia abierta** es fundamental y propicia la realización de auditorías públicas de estos sistemas, a la vez que garantiza la aplicación de medidas firmes en materia de ciberseguridad para proteger los datos confidenciales y los servicios públicos. La transparencia, mediante normativas que exijan que los sistemas de IA utilizados en los servicios públicos sean explicables y permitan que tanto las partes interesadas como la población en general comprendan la manera en que se toman las decisiones, también es clave.

c. Recomendaciones generales

Para amortiguar las repercusiones económicas de la IA, las políticas deberían **apoyar la transición laboral y el desarrollo profesional de la fuerza de trabajo**. Deberían asignarse fondos públicos a programas de reciclaje profesional que ayuden a las personas a cambiar de empleo, sobre todo en sectores emergentes en los que la automatización puede provocar la pérdida de puestos de trabajo. Promover el crecimiento del empleo verde basado en la IA, como el relacionado con la gestión de las energías renovables y las infraestructuras urbanas sostenibles, puede impulsar aún más el crecimiento económico sostenible.

Los marcos de supervisión y rendición de cuentas son esenciales para garantizar que los sistemas de IA sean compatibles con los objetivos de sostenibilidad a lo largo del tiempo. Debería establecerse la **obligatoriedad de realizar evaluaciones del impacto de la IA**, similares a las evaluaciones del impacto ambiental, para analizar los efectos ambientales, económicos y sociales de la implementación de estas tecnologías en las ciudades. La supervisión y auditoría continuas de los sistemas de IA urbana pueden ayudar a garantizar que estos sigan siendo adaptables a los desafíos y las consideraciones éticas que surjan.

Incorporar en las normas ambientales, sociales y de gobernanza aspectos que tengan en cuenta la sostenibilidad de los datos, algoritmos y recursos informáticos utilizados por las empresas, así como el apoyo proporcionado a las fuentes de energía renovables y las economías computacionales circulares.

Las normas reguladoras de la infraestructura urbana inteligente deben garantizar **que las tecnologías de IA sean flexibles, compatibles entre sí y adaptables a las necesidades urbanas futuras**, especialmente en ámbitos tales como la gestión del tráfico, la reducción de residuos y la eficiencia energética.

Por último, en el plano mundial, deberían alentarse la **colaboración y estandarización** internacionales. Las ciudades deberían aunar esfuerzos para elaborar unas normas globales de sostenibilidad para la IA e intercambiar buenas prácticas (Strubell, 2019), y garantizar la compatibilidad con los objetivos internacionales. Las plataformas de intercambio de conocimientos entre ciudades pueden contribuir a acelerar la adopción de prácticas de IA sostenible en todo el mundo.

Referencias bibliográficas

Andersson, T. R. *et al.* «Seasonal Arctic sea ice forecasting with probabilistic deep learning». *Nature Communications*, vol. 12, n.º 1 (2021): 5124.

Bibri, S. E. «Data-driven smart sustainable cities of the future: Urban computing and intelligence for strategic, short-term, and joined-up planning». *Computational Urban Science*, vol.1, n.º 1 (2021): 8.

Dixon, B., Pérez Ortiz, M. y Bieker, J. «Comparing the carbon costs and benefits of low-resource solar nowcasting». Taller de NeurIPS sobre la lucha contra el cambio climático mediante el aprendizaje automático (2022).

Consejo Asesor Alemán sobre el Cambio Global (GACGC), *Towards Our Common Digital Future*, informe emblemático, 2019.

Heikkilä, M. «Making an image with generative AI uses as much energy as charging your phone», *MIT Technology Review* (2023).

Jha, A. K. *et al.* «A review of AI for urban planning: Towards building sustainable smart cities». Sexto Congreso Internacional sobre Tecnologías Informáticas Creativas (ICICT), 2021. IEEE, 2021.

Keeble, B. R. «The Brundtland Report: “Our Common Future”». *Medicine and War*, vol. 4, n.º 1 (1988), pp. 17-25.

Luccioni, S., Trevelin, B. y Mitchell, M. «The Environmental Impacts of AI-Primer», 2024.

Muir, J. «My first summer in the Sierra», en: *British Politics and the Environment in the Long Nineteenth Century*. Routledge, 1911 (reeditado en 2023), pp. 291-296. [Traducción propia]

Nishant, R., Kennedy, M. y Corbett, J. «Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda». *International Journal of Information Management*, vol. 53 (2020): 102104.

Pastor Escuredo, D., Treleaven, P y Vinuesa, R. «An Ethical framework for artificial intelligence and sustainable cities». *Ai*, vol. 3, n.º 4 (2022), pp. 961-974.

Rowe, N. «Millions of Workers Are Training AI Models for Pennies», WIRED (2023).

Strubell, E., Ganesh, A. y McCallum, A. «Energy and policy considerations for modern deep learning research». *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*. Vol. 34. N.º 9 (2020).

ONU-Hábitat, *Envisaging the Future of Cities (Visualizando el futuro de las ciudades)*, Informe Mundial de las Ciudades 2022.

Van Wynsberghe, A. «Sustainable AI: AI for sustainability and the sustainability of AI». *AI and Ethics*, vol.1, n.º 3 (2021), pp. 213-218.

Vinuesa, R. *et al.* «The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals». *Nature Communications*, vol. 11, n.º 1 (2020), pp. 1-10.

Wilson, C. y Van Der Velden, M. «Sustainable AI: An integrated model to guide public sector decision-making». *Technology in Society*, vol. 68 (2022): 101926.

Wu, C-J. *et al.* «Sustainable AI: Environmental implications, challenges and opportunities». *Proceedings of Machine Learning and Systems*, vol. 4 (2022), pp. 795-813.

Yigitcanlar, T. y Cugurullo, F. «The sustainability of artificial intelligence: An urbanistic viewpoint from the lens of smart and sustainable cities». *Sustainability*, vol. 12, n.º 20 (2020): 8548.

