

Fernando Ballestero*

Juan Miguel González Aranda**

EL USO DE TIC DISRUPTIVAS PARA MEJORAR LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL Y LA COMPETITIVIDAD. LIFEWATCH ERIC COMO OPORTUNIDAD

El desarrollo económico, social y medioambiental conforman hoy los tres pilares de la sostenibilidad. Para lograr esta, hay que implementar propuestas viables fundadas en análisis rigurosos de los datos. En la protección del medioambiente, la preservación de la biodiversidad y la gestión sostenible de los ecosistemas, la utilización de datos ha sido siempre esencial para elaborar las políticas asociadas. Pero no basta con registros históricos, hay que trabajar también con modelos de causalidad, simulación y previsión, rigurosos. Las TIC disruptivas ayudan a tal fin. La UE ha impulsado la creación de una e-Infraestructura de Investigación Científica, LifeWatch ERIC. Al tener su sede y Oficina Central de Coordinación TIC en España, nuestro país tiene una gran oportunidad de liderar esta estrategia en un contexto de adaptación al cambio climático.

The use of disruptive ICTs for improving environmental sustainability and competitiveness. The opportunity represented by LifeWatch ERIC

Economic, social and environmental development are currently the three pillars of sustainability. Achieving sustainability requires viable proposals backed by rigorous data analysis. The use of data has always played a key role for policy-making in the areas of environmental protection, biodiversity preservation and the sustainable management of ecosystems. However, the use of historical records is not sufficient, being also necessary to employ rigorous causal, simulation and forecasting models. The ICTs come in handy to that purpose. The EU fostered the creation of an e-Infrastructure of Scientific Research, LifeWatch Eric. Given the fact that its headquarters and its Central Coordination Office are located in Spain, our country has a great opportunity to lead this strategy in the process of adjusting to climate change.

Palabras clave: sostenibilidad, big data, deep learning, LifeWatch ERIC, blockchain, TIC disruptivas.

Keywords: sustainability, big data, deep learning, LifeWatch ERIC, blockchain, disruptive ICTs.

JEL: C0, Q3.

* Doctor en Economía, Técnico Comercial y Economista del Estado. Ex Miembro del Consejo de la OCDE.

** Doctor Ingeniero de Telecomunicación, y Organización Industrial y Gestión de Empresas. Chief Technology Officer de LifeWatch ERIC.

Versión de febrero de 2020.

DOI: <https://doi.org/10.32796/ice.2020.912.6974>

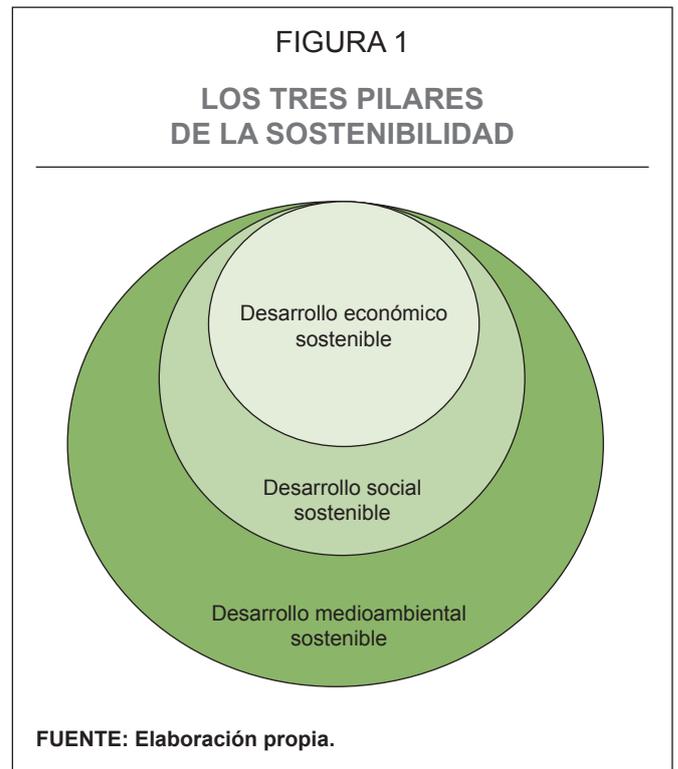
1. Introducción

La sostenibilidad ambiental y el rol de sus actores principales: investigadores, gestores-decisiones políticos, empresas y ciudadanos. Las barreras a superar

Desde que el uso del término *sostenibilidad* se generalizara en la economía y en las ciencias sociales, ha estado directamente unido al entorno y al medioambiente. Ya el *Informe Brundtland de Naciones Unidas* (ONU, 1987), señalaba que «sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of the future». Pocos años más tarde, en 2005, la Cumbre Mundial para el seguimiento de los Objetivos del Milenio establecidos unos años antes, identificaba los Objetivos de un Desarrollo Sostenible (ODS) como «economic development, social development and environmental protection». De este modo, desarrollo económico, social y medioambiental se han consolidado como los tres pilares de la sostenibilidad (Figura 1).

Pero quince años después, y a pesar de los acuerdos internacionales alcanzados y suscritos, la realidad es que los Gobiernos, con carácter general, siguen actuando con poca firmeza para luchar contra el cambio climático y la protección de la biodiversidad, incluyendo la gestión sostenible de los ecosistemas. Por su parte los ciudadanos, y la sociedad en su conjunto, si bien van asumiendo la gravedad del problema del cambio climático y los riesgos de sostenibilidad, no actúan en sus entornos, salvo excepciones, de un modo plenamente coherente con ese planteamiento.

En los últimos meses estamos viendo como aumenta la contestación frente al cambio climático, y la joven Greta Thunberg se ha convertido en una referencia mundial, aunque la realidad es la que es, y la COP 25 no ha logrado grandes avances. La razón de esta falta de acción tal vez haya que buscarla en dos factores: la reticencia y dificultad de las personas para modificar sus hábitos de consumo, y el hecho de que, si bien las políticas medioambientales benefician claramente a la sociedad, sus costes



y beneficios inmediatos no recaen por igual en todos los sectores y agentes (Lankovski, 2010), por lo que las críticas y los retardos por los más afectados a corto plazo, para evitar impactos negativos, frenan su avance, generando en la sociedad una actitud de un cierto conformismo y fatalismo generalizado que constituye una verdadera barrera para enfrentarse a los retos.

Cada vez hay más información general sobre lo que está pasando, si bien en su mayoría se trata de datos o registros de los cambios que se van produciendo, y no resultados de análisis de causalidad o de modelos de simulación y previsión. Por ello, no basta con repetir que el cambio climático es una realidad, o que las especies invasoras causan serios perjuicios. Es necesario aportar un mayor conocimiento que facilite una actitud más proactiva, y esto hoy es factible. Los ciudadanos y las instituciones valoran y asumen las explicaciones y evidencias basadas en aportaciones de científicos e investigadores, y las técnicas actuales permiten un mejor tratamiento de los datos y de la información, y permiten a

su vez que esta sea utilizada de manera más sencilla y accesible por colectivos y grupos de ciudadanos más sensibles a esta temática. El tema es clave ya que para impulsar firmemente y con rigor un objetivo de sostenibilidad del conjunto de la economía y de la sociedad, la utilización de esas técnicas en el análisis medioambiental es un apoyo importante. Una economía y una sociedad no serán sostenibles si su entorno natural no lo es, y todavía es posible actuar para lograr la sostenibilidad. Es fundamental desarrollar propuestas bien fundadas en el análisis de los datos, y que estas sean viables.

El propósito de este artículo es analizar cómo ayudar a superar esta barrera, la importancia que tiene un buen uso y tratamiento de los datos, y comentar las nuevas TIC disruptivas e iniciativas asociadas de la UE en este campo como aportación a la sostenibilidad.

2. La importancia de la gestión eficiente de los datos para dar soporte a las políticas medioambientales

El diseño de las políticas relacionadas con el medioambiente, y en particular la biodiversidad y gestión sostenible de los ecosistemas, ha venido siempre ligado a la utilización de datos. Por ejemplo, la meteorología, el estudio del suelo, de las aguas, de la atmósfera, de la fauna o de la flora, se han apoyado siempre en el análisis de datos registrados y su evolución. Precisamente la preocupación por facilitar la elaboración de unas buenas bases de datos y facilitar a los investigadores, estudiosos, y responsables políticos el acceso a ellas, ha dado pie a la aparición de iniciativas internacionales que se han traducido en importantes repositorios de información, así como redes o *networks* que trabajan con datos medioambientales, generales o referidos a entornos o ámbitos específicos¹.

¹ Así, podríamos destacar, entre otros a: GBIF (Global Biodiversity Information Facility), GCOS (Global Climate Observatory System) y GEOBON (Group of Earth Observations Biodiversity Observation Network); destacando las Infraestructuras Europeas de Investigación Estratégicas Medioambientales (ESFRI ENV, por sus siglas en inglés): LifeWatch ERIC (biodiversidad y gestión de ecosistemas), EuroArgo, IAGOS, ICOS, EMSO, EPOS, SIOS, etc.

Más aún, un avance importante a la hora de sistematizar el tipo de datos que deben de captarse y registrarse ha sido la identificación del concepto de Essential Biodiversity Variables (EBVs) o variables esenciales de la biodiversidad, que son aquellas que deben de ser medidas y estudiadas y han de ser tenidas en cuenta en los informes. A partir de ahí, los expertos han ido consensuando los criterios que deben de cumplir dichas variables, estableciéndose una tipología que recoge seis grupos de variables que incluyen diferentes categorías cada uno de ellos (desde las poblaciones de especies a los datos de genética y de los hábitats). Con estas se puede tener una visión del conjunto de la biodiversidad y su evolución, así como elaborar modelos de simulación y proyecciones.

En definitiva, es un hecho que hoy existen muchísimas bases de datos distribuidas de carácter heterogéneo, pero lo que no está tan desarrollado es su *FAIRness*², es decir, y como más adelante se comenta, que los datos sean Localizables, Accesibles, Interoperables y Reusables (FAIR, por sus siglas en inglés) para los *policy makers*, los estudiosos que profundizan en la relación de causalidad o vínculo entre distintos tipos de datos, y estén al servicio de la ciudadanía en términos generales. Por citar un ejemplo, para estudiar la incidencia de brotes asmáticos en menores de 11 años, en un entorno urbano con determinadas especies vegetales, incluyendo aquellas consideradas «invasoras» procedentes de otras latitudes debido al cambio climático global, y unos niveles determinados de humedad y contaminación atmosférica, habría que buscar datos en fuentes muy dispersas y no homogéneas en su tratamiento.

La conveniencia de un enfoque que valore los servicios ecosistémicos

Las políticas de sostenibilidad y de conservación a nivel urbano y rural, a escala regional y nacional que

² FAIR: sigla procedente de los términos anglosajones *Findable, Accessible, Interoperable* y *Reusable*.

diseñan y desarrollan las autoridades públicas competentes, y las acciones de los gestores responsables en materia medioambiental, han de apoyarse necesariamente en el conocimiento científico y en la evaluación del impacto que tienen las medidas. En las últimas décadas, desde distintos organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), se vienen promoviendo sistemas de gobernanza que reconozcan que los ecosistemas son complejos y que generan múltiples beneficios que hay que valorar. De ahí, que se haya ido acuñando un término que refleja mejor esta relación: los «servicios ecosistémicos».

Con carácter general, los ecosistemas proporcionan cuatro tipos de servicios que podemos resumir en las cuatro categorías o grupos siguientes: *i) servicios de abastecimiento*, que son los beneficios materiales que las personas obtienen de los ecosistemas, por ejemplo, el suministro de alimentos, agua, fibras, madera y combustibles; *ii) servicios de regulación*, que son los beneficios obtenidos de la regulación de los procesos ecosistémicos, por ejemplo, la regulación de la calidad del aire y la fertilidad de los suelos, el control de las inundaciones y las enfermedades y la polinización de los cultivos; *iii) servicios de apoyo*, que son necesarios para la producción de todos los demás servicios ecosistémicos, por ejemplo, ofreciendo espacios en los que viven las plantas y los animales, permitiendo la diversidad de especies y manteniendo la diversidad genética; y *iv) servicios culturales*, que son los beneficios inmateriales que las personas obtienen de los ecosistemas, por ejemplo, la fuente de inspiración para las manifestaciones estéticas y las obras de ingeniería, la identidad cultural y el bienestar espiritual.

Los bienes naturales no suelen valorarse a la hora de tomar decisiones económicas y políticas, o bien se subestiman de forma imprecisa. Por ello resulta necesario dotar a la sociedad y a los Gobiernos de los instrumentos necesarios para poder evaluar y valorar los

beneficios de estos servicios ecosistémicos, que no reciben la atención adecuada en las políticas y las normativas económicas, y por ello no se invierte lo suficiente en su protección y ordenación. Sería preciso establecer una herramienta, que permita llevar a cabo en la práctica una política de desarrollo sostenible, que integre los enfoques y técnicas de contabilidad para la Valoración de los Servicios Ecosistémicos (ESV, por sus siglas en inglés). Al incorporar nuevos métodos de contabilidad asociados a los procesos relacionados con la gestión de la biodiversidad, los sistemas y la regulación del clima, y establecer un «puente-*middleware*» entre los valores no monetarios y económicos, se podría registrar la deuda ambiental y establecer un balance general para indicar las condiciones económicas y la contribución del medioambiente al desarrollo económico.

Asimismo, es esencial conocer los límites y umbrales críticos medioambientales, comprender los mecanismos de «resiliencia» de los ecosistemas y la relación entre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos básicos que proveen. En este sentido, el desarrollo y uso de herramientas electrónicas es especialmente prometedor para estos propósitos, ya que es posible integrar el uso de múltiples indicadores para mostrar escenarios de gestión alternativos con los enfoques participativos.

Esto facilitaría en gran medida la integración del conjunto del sistema económico en un modelo que incluya la gestión de los servicios ecosistémicos tal como define la IPBES, por sus siglas en inglés, que es la Plataforma de Política Científica Intergubernamental para Servicios (IPBES, 2019). Estaríamos así ante un nuevo modelo económico (Sukhden, 2010), que provee herramientas para la regulación, provisión, soporte y cultura de los servicios ecosistémicos, a fin de garantizar que se cumplan los objetivos definidos por la Convención en Diversidad Biológica (CBD, por sus siglas en inglés), de Nagoya de 2010.

Este enfoque es complementario al de la economía circular, que ha surgido con una cierta fuerza en los últimos años.

El potencial de las TIC disruptivas en la gestión de los datos

Dentro del mundo de las TIC, han ido surgiendo avances tecnológicos muy relevantes para mejorar la gestión y el tratamiento de los datos, con un carácter muy disruptivo³. La expresión *big data* forma parte hoy del léxico común. Comenzó a usarse hace más de 20 años para referirse a aquellas colecciones de datos que por su elevado número y complejidad no podían ser tratados con aplicaciones informáticas tradicionales (Marco de Lucas, 2017). Esto es, no se trata solo de que sean muchos los datos, sino sus metadatos: el formato, el tipo de información que incorporan, sus fuentes, etcétera⁴. No es lo mismo tratar cifras registradas, por muy elevado que sea su número, que imágenes. De ahí, que en el ámbito del *big data* se consideran clave las cinco «V», esto es, el volumen, su variedad, la velocidad, su veracidad y su validez. Como señala Jesús Marco de Lucas, «abordar un problema de *big data* supone considerar desde el principio “el ciclo de vida” de dichos datos: desde la creación de los mismos, su captura y transferencia, almacenamiento, filtrado o preprocesado, en resumen, su “ingestión”, hasta su análisis, visualización, publicación, preservación, y la forma de compartir dichos datos» (Marco de Lucas, 2017, p. 41). Partiendo de ese planteamiento, se han ido desarrollando muchas aplicaciones o programas para poder gestionar los diferentes tipos de datos.

Pero más allá del simple almacenamiento o la capacidad de cálculo, estamos viviendo también un importante desarrollo en aquellas tecnologías que tienen por objeto que las máquinas, utilizando algoritmos, «aprendan de los datos y utilicen lo aprendido en la

toma de decisiones tal y como lo haría un ser humano». Es lo que se llama inteligencia artificial (Rouhianem, 2018, p. 17). Hay un consenso unánime de que la inteligencia artificial va a suponer un punto de inflexión en el desarrollo de las tecnologías relacionadas con la información con implicaciones importantes en todos los sectores y ámbitos de la actividad humana, y que estamos viviendo, por su impacto, la cuarta revolución industrial de la historia. Una tecnología específica con gran potencial dentro de la inteligencia artificial es el *deep learning*. Así como el *machine learning* consiste en proporcionar a la máquina unos datos etiquetados con sus características y unas reglas e instrucciones, para que la máquina los analice y establezca sus propias instrucciones, el *deep learning*, que se basa en los modelos neuronales del sistema nervioso de los humanos, proporciona a la máquina un modelo y unas características para que esta lo vaya analizando en profundidad y sugiera instrucciones de modificación en relación al modelo de referencia.

En paralelo a ello, hay que mencionar los avances en supercomputación o High Performance Computing (HPC). El desarrollo de la capacidad de computación ha llevado a la creación de supercomputadores de gran capacidad, existiendo un listado de los 500 más potentes que se publica anualmente (Top500, 2019). Al mismo tiempo, existen también redes de computadores de gran capacidad que comparten la capacidad ociosa en cada momento y ponen a disposición de los usuarios interesados la posibilidad de su utilización. En España la Red Española de Supercomputadores (RES), en la que se integran las capacidades de 12 instituciones (RES, 2019), y a nivel de la UE, la iniciativa Partnership for Advanced Computing in Europe (PRACE) en la que participa Barcelona Supercomputing Center (BSC), y que se integra también como un referente en la constitución de la iniciativa EuroHPC (European Commission, 2019a). Aunque la puesta en marcha de estas iniciativas ha estado vinculada a los centros científicos y de investigación, su utilización se ha ido abriendo al mundo de la industria

³ Tecnologías de la Información y teleComunicaciones que tienen como base la innovación, y denominador común también su capacidad de evolucionar rápidamente y adaptarse a diferentes sectores, generando nuevos modelos de negocio.

⁴ Los metadatos (del griego μετά, meta, «después de, más allá» y latín datum, «lo que se da», «dato»), literalmente «sobre datos», son datos que describen otros datos.

y de hecho uno de los objetivos de estas redes e instalaciones es que sean utilizados también por los agentes económicos, como un servicio. De hecho, la mayor capacidad de computación permite hacer estudios de simulación, en todos los campos. Otra tecnología complementaria que ha tenido un amplio desarrollo, para superar las limitaciones de almacenamiento es el *cloud computing* o almacenamiento en «la nube» que, aparte de su uso para guardar información de manera distribuida, ofrece también *e-Services* para su computación y tratamiento.

Pero sin duda, una de las tecnologías que ha irrumpido recientemente con más potencial por su multitud de aplicaciones es la denominada *blockchain*. Consiste en un «registro distribuido» de datos tipo P2P (Peer-to-Peer) en donde los diferentes participantes operan con un protocolo de consenso que garantiza la seguridad y la veracidad de las transacciones. La información se guarda en un sistema de cadena de bloques a fin de garantizar su inmutabilidad. Por tanto, esta tecnología es segura, proveyendo unos mecanismos de trazabilidad y actualización en tiempo real.

El Foro Económico Mundial (WEF, por sus siglas en inglés) destacó recientemente el potencial que tiene la tecnología *blockchain* para ofrecer soluciones para una mejor gestión del medioambiente, en particular en las siguientes actividades: cadenas de suministro «transparentes», gestión de recursos descentralizada y sostenible, nuevas fuentes de sostenibilidad para las finanzas («tokenización»), incentivo de las economías circulares, transformación del mercado de carbono, monitoreo de procesos ecosostenibles, preparación ante desastres y ayuda humanitaria, y plataformas para la gestión de recursos naturales, entre otras aplicaciones.

Por último, otro elemento innovador con implicaciones muy positivas en el campo de la preservación medioambiental es el que ofrece el desarrollo del Internet de las Cosas, también conocido por sus siglas en inglés IoT («Internet-of-Things»). La mejora en la escala de integración electrónica y disponibilidad de

ancho de banda de transmisión están propiciando un número creciente de dispositivos y equipos interconectados vía internet, permitiendo una comunicación entre las máquinas, una máquina y un usuario, o un usuario y una red de máquinas. El avance tecnológico logrado en el campo de los sensores, principalmente basado en su integración (nanosensores, etc.), permite que actualmente se lleve a cabo una toma de medidas de magnitudes físicas (temperatura, presión, luz, sonido, etc.) de manera muy eficiente, de manera que su utilización se ha generalizado en muchos ámbitos de las actividades humanas, desde la domótica casera a las *smart cities*. De ahí que la idea de «mejora de la productividad y la eficiencia» haya sido en la mayoría de los casos el «mantra» que ha presidido la incorporación de estas innovaciones tecnológicas, tanto para uso doméstico como para uso profesional.

Más aún, como algunos autores han destacado, la gran mayoría de los estudios realizados sobre la utilización de redes de sensores en los entornos urbanos, ha centrado su enfoque precisamente en el impacto sobre el crecimiento económico y la productividad. «A pesar del reciente aumento de investigaciones sobre el IoT y las aplicaciones de *big data* ligadas, en el ámbito del desarrollo urbano, el grueso de los trabajos tiende a centrarse fundamentalmente en el desarrollo económico y la calidad de vida en la esfera de las *smart cities*, dejando atrás cuestiones importantes relacionadas con el modo en el que IoT y las correspondientes aplicaciones de *big data* pueden aportar a la dimensión medioambiental de la sostenibilidad, campo apenas explorado hasta la fecha.» (Bibri, 2018, p. 230).

Por tanto, las posibilidades de extender el uso de los sensores al ámbito de la protección del medioambiente son elevadas. Y más si tenemos en cuenta la introducción de la tecnología 5G en las comunicaciones móviles. Combinando las tecnologías IoT y 5G para la adquisición *in situ* de datos referidos a variables tanto de carácter «biótico» como «abiótico», se podrá trabajar con modelos que permitan entender, a escala científica, cómo evolucionan los ecosistemas

y en consecuencia, facilitar a los gestores la toma de decisiones eficientes. Esto se está poniendo en práctica mediante el despliegue de redes de sensores de última generación en espacios naturales, mediante la creación de los denominados *smart natural parks*.

El desarrollo e implementación de todas estas tecnologías ha ido generalizándose en estos últimos años, elaborándose modelos de causalidad y previsión que relacionan distintos tipos de variables al analizar situaciones y hechos específicos, con el rigor que aporta un análisis metodológicamente sólido que recoja con credibilidad los resultados. Esta cuestión tiene una importancia clave ya que uno de los problemas que hay en la información y los estudios sobre el medioambiente es precisamente el riesgo que supone la posible falta de credibilidad, lo que lleva a la creación de posiciones radicalmente contrarias que se alimentan a partir de la credibilidad o no, aderezado adicionalmente con una dosis de *fake news*, bulos sin rigor o fundamentos científicos. De ahí que muchos autores hayan analizado ese problema del *credibility gap*, que tiene su origen en la asimetría de la información manejada, ya que en muchos casos esta no es suficiente o no es rigurosa. La utilización de estas técnicas de *big data* aporta una mayor credibilidad a los trabajos (Wanner y Janiesch, 2019).

3. Exigencias de un nuevo modelo basado en el uso intensivo de los datos

Hacia una gestión de datos FAIR

El principal problema que surgió inicialmente a la hora de poder trabajar con datos de diferentes fuentes fue garantizar su interoperabilidad. En este sentido, y como algunos expertos señalaron en su momento (Alonso García, 2016, pp. 146 y 147), puede hablarse de diferentes aspectos o componentes de la interoperabilidad. En concreto: *i) interoperabilidad desde el punto de vista técnico*, esto es, poder acceder y trabajar con ellos sin restricciones; *ii) interoperabilidad*

desde el punto de vista sintáctico, esto es, cuando los datos pueden comunicarse entre sí por disponer de formatos y protocolos iguales o que así lo permitan; *iii) interoperabilidad semántica*, entendida como la capacidad para intercambiar datos con significado unívoco y compartido, incluyendo los metadatos; y *iv) interoperabilidad legal*, que se refiere a las condiciones jurídicas para su utilización, como el no tener que solicitar autorización para acceder a ellos y usarlos, el poder generar datos y productos derivados, las licencias o permisos que generen estos, el tratamiento confidencial, la responsabilidad por los errores, etc.

Aunque en algunos ámbitos como los datos de salud, el aspecto de la interoperabilidad legal es más complejo, por razones de confidencialidad y por el hecho de que hay intereses económicos vinculados al tratamiento de los datos, en el ámbito medioambiental y de la biodiversidad esta interoperabilidad es más simple. De hecho, el desarrollo de los principios e iniciativas de la *open science* juega claramente a favor de una plena interoperabilidad. En este sentido es necesario destacar el gran esfuerzo en el desarrollo de este tipo de políticas que está llevando a cabo en los últimos años la Unión Europea, especialmente a través del establecimiento de la European Open Science Cloud (EOSC) (European Commission, 2019c y d), en colaboración con iniciativas de carácter mundial como la Research Data Alliance (RDA, 2019). Ello viene facilitado por el hecho de que una gran parte de los datos en este sector son generados por o en instituciones públicas, esto es con financiación pública lo que facilita el que deban de estar plenamente accesibles y disponibles.

No obstante, queda aún mucho trabajo por hacer, y no solo el aspecto legal, sino también en algo aparentemente tan simple, técnicamente, como la digitalización de muchas bases de datos existentes.

De ahí la importancia de establecer los Planes de Gestión de Datos (PGD)⁵, asociados como instrumentos de soporte a la toma de decisiones inteligentes.

⁵ Más conocidos como Data Management Plan (DMP).

Un PGD «es un documento formal que describe los datos producidos en el curso de un proyecto de investigación, tanto en la fase activa, como después de que haya terminado» (Jones, 2011). También se define como aquel «documento en el que se describe cómo se gestionan los datos de investigación durante y después del proyecto de investigación»⁶. Esto es, recoge el ciclo de vida de la gestión de los datos que se van a recopilar, procesar o generar en un proyecto, haciendo así los datos de investigación FAIR, es decir, que los datos y metadatos (descripción de los mismos) sean: *i) localizables* (asignación de metadatos, identificadores persistentes y palabras clave); *ii) accesibles en abierto* (qué datos, cómo, restricciones, documentación y *softwares* de acceso); *iii) interoperables*, permitiendo el intercambio y la reutilización entre los investigadores, instituciones, etc. (vocabularios estándar y metodologías); y *iv) reutilizables*, incrementar su uso (a través de licencias).

Además, se debe garantizar: su localización, la seguridad, los aspectos legales y éticos relacionados, y otros relacionados con su gestión, como la información sobre qué datos serán recopilados, procesados y generados, qué metodologías y normas o estándares se les van a aplicar, y cómo los datos se van a preservar, finalizado el proyecto. De hecho, la UE ha definido recientemente unas *Guidelines on FAIR Data Management in H2020* (European Commission, 2019e) donde se destaca la importancia y el por qué de la gestión de datos.

El papel de las infraestructuras de investigación y la «industria de la ciencia»

Un paso previo a la innovación, es la investigación científica. Históricamente, la investigación como disciplina ha estado vinculada a emplazamientos físicos: por ejemplo, laboratorios de la universidad, a centros

públicos creados *ad hoc*, y a algunos laboratorios creados en empresas, generalmente grandes empresas pioneras y líderes en algún campo concreto. De este modo, iban desarrollándose enclaves cerrados donde se iban produciendo los avances tecnológicos y los estudios científicos. Pero con la globalización, la comunicación entre equipos de investigadores de diferentes lugares ha aumentado consolidándose como práctica la colaboración en proyectos.

La UE, que considera la I+D como uno de sus objetivos al que destina gran cantidad de recursos⁷, ha seguido esta línea, primando a la hora de otorgar financiación los proyectos realizados por redes de investigadores conformadas por más de un Estado miembro, y fomentando la creación de infraestructuras de investigación, o centros creados por varios Estados miembros interesados en desarrollar investigación en algún campo específico. Existen hoy un gran número de estas infraestructuras, dedicadas algunas de ellas al medioambiente (Ballestero, 2016, pp. 61-81).

Pero lo importante de estas no es solo que permiten a los científicos trabajar y colaborar mejor, sino que facilitan una mejor relación con las empresas que diseñan los equipos e instrumental innovador, lo que se conoce como la «industria de la ciencia», y que posteriormente acaban generando aplicaciones prácticas múltiples en el sector industrial en sí mismo. Estos centros, además, facilitan la divulgación sobre los últimos avances en el campo concreto en el que trabajan, con lo que ello supone de sensibilización hacia los progresos y logros de los científicos.

4. Un caso de estudio: LifeWatch ERIC como plataforma proveedora de servicios y soluciones innovadoras

Teniendo en cuenta el papel crítico de los datos y el estado de su accesibilidad, la Unión Europea impulsó

⁶ UE. *Directrices para Gestión de Datos en H2020*, publicadas en el año 2013.

⁷ Ver los *Programas Marco de I+D plurianuales*, y el más reciente *Horizonte 2020*.

hace pocos años una iniciativa para facilitar la utilización de los datos existentes en el campo de la investigación científica del medioambiente: LifeWatch ERIC (LifeWatch ERIC, 2019). Se trata de una e-Infraestructura⁸ de Investigación distribuida a escala paneuropea recogida en la hoja de ruta de la ESFRI, European Strategy Forum Research Infrastructure (European Commission, 2019f), constituida legalmente como un European Research Infrastructure Consortium (ERIC)⁹.

Su objetivo es facilitar el estudio de la biodiversidad y la gestión sostenible de los ecosistemas para mejorar el conocimiento en temáticas relacionadas con el cambio climático, la desertificación o la escasez de agua y recursos naturales, entre otros grandes desafíos de carácter global. Para ello, LifeWatch ERIC construye una serie de Entornos Virtuales de Investigación (VRE, por sus siglas en inglés) que permitirán crear modelos para prever los futuros escenarios de cambio global que afectan tanto a entornos rurales como urbanos, a nivel terrestre, marino-fluvial y atmosférico, destinados a tres grandes grupos de usuarios: *i) investigadores*, en primer lugar; *ii) gestores medioambientales* (de carácter público, pero también privado, por ejemplo, empresas) y *decisores políticos*; y *iii) ciudadanía* en general (asociada al paradigma denominado *citizen science*, ciencia ciudadana), en base a las reglas definidas de acceso para estos, y a su vez en función de los Programas Ecosistémicos asociados (Figura 2).

España alberga su sede estatutaria en Sevilla, y también es responsable de la coordinación de su

e-Infraestructura TIC de carácter distribuido, con oficinas también sitas en otros lugares de la geografía andaluza (Málaga y Huelva). La complementan otra sede en Amsterdam (Países Bajos), para la coordinación científica de los laboratorios virtuales; y un Centro de Servicios en Lecce (Italia). Actualmente son Estados miembros de LifeWatch ERIC: Bélgica, Eslovenia, Grecia, España, Italia, Países Bajos y Portugal. Otros Estados como Francia, Alemania, Rumanía y los Países Escandinavos (Islandia, Dinamarca, Suecia, Noruega y Finlandia) están en conversaciones para una posible incorporación. Más inminentemente también lo han hecho Ucrania, Chipre e Israel. Además, LifeWatch ERIC ha establecido acuerdos de muy alto nivel con otras regiones del mundo, tales como Latinoamérica y el Caribe (EU-LAC)¹⁰.

Como puede verse en la Figura 2, la e-Infraestructura se ajusta a sus objetivos mediante el acceso a una multitud de datos, servicios y herramientas que permitan la construcción y operación de una serie de Entornos Virtuales de Investigación, que provee el ecosistema de integración de datos, *hardware-software*, y necesidades de computación desde una perspectiva y un contexto distribuido, a nivel europeo pero en un marco de cooperación internacional apoyándose en los últimos avances en el campo de las TIC; como *big data*, inteligencia artificial-*deep learning*, supercomputación-HPC, computación en la nube, *blockchain*, e IoT mencionados anteriormente, entre otras.

De hecho, LifeWatch ERIC, basada en su plataforma *blockchain* denominada LifeBlock, ha creado una plataforma colaborativa para la investigación (VRE)¹¹ que asegura la trazabilidad del intercambio de datos en el flujo de trabajo científico a través de la creación de una serie de *workflows* para, posteriormente, dar soporte a la toma de decisiones a los gestores medioambientales mediante la provisión de los (e-)Servicios ecosistémicos

⁸ El término e-Infraestructura se refiere al conjunto de herramientas (redes, centros de datos y entornos de colaboración, y puede incluir centros de operaciones de soporte, registros de servicios, señalización individual, autoridades de certificación, servicios de capacitación y servicio de soporte, entre otras) que permitan un nuevo entorno de investigación colaborativo (*E-Research Collaboration*) en el que todos los investigadores, ya sea trabajando en el contexto de sus instituciones de origen o en iniciativas científicas nacionales o multinacionales, comparten acceso a instalaciones científicas generalmente distribuidas (incluidos datos, instrumentos, informática y comunicaciones), independientemente de su tipo y ubicación en el mundo (e-Ciencia) (European Commission, 2019b).

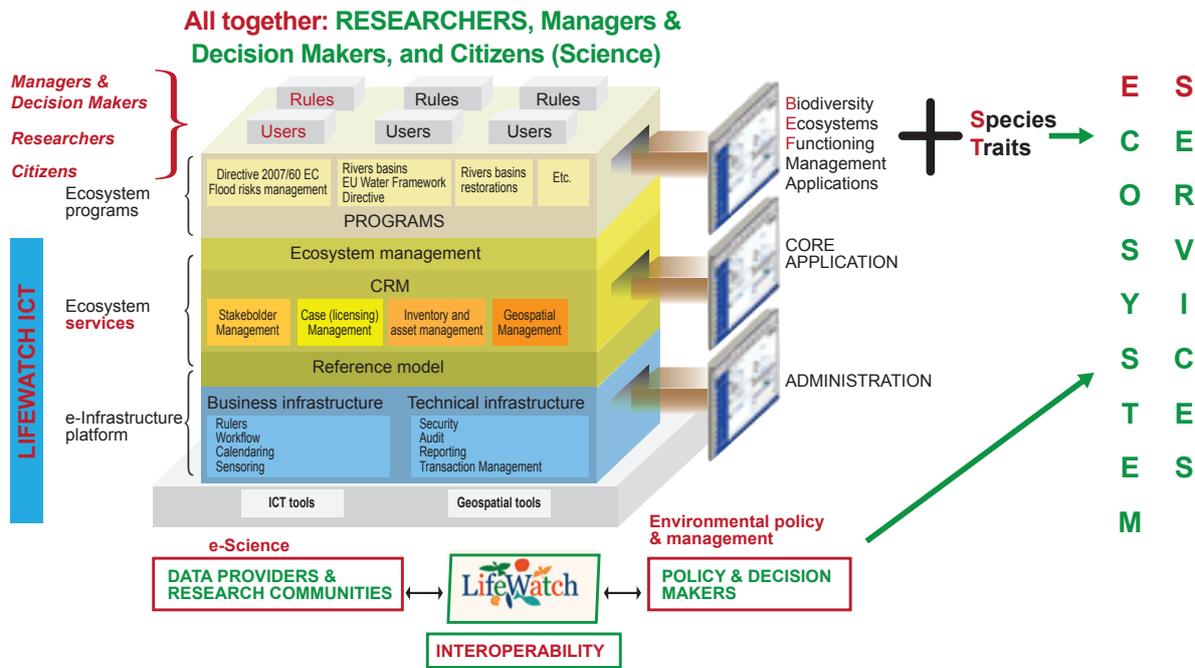
⁹ <https://www.eric-forum.eu/>

¹⁰ https://www.lifewatch.eu/all-news/-/asset_publisher/BU9HdfPGXPak/content/celac-eric/10181

¹¹ <https://www.lifewatch.eu/web/guest/catalogue-of-virtual-labs>

FIGURA 2

ESQUEMA DE PROVISIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS POR LIFEWATCH ERIC EN RELACIÓN A LA GESTIÓN INTEGRAL DE RECURSOS HÍDRICOS Y SU MARCO REGULADOR



FUENTE: Documentos de descripción científica y técnica de LifeWatch ERIC.

correspondientes utilizando modelos innovadores basados, por ejemplo, en técnicas novedosas de inteligencia artificial. LifeBlock está desplegada en la red pública de Ethereum y establece un sistema de tokenización para recompensar a los usuarios de la plataforma, constituyendo, por tanto, un sistema que permite controlar la inmutabilidad, custodia y trazabilidad de los datos e investigaciones mediante la puesta en valor, por ejemplo, de los servicios ecosistémicos considerados (González-Aranda *et al.*, 2018).

Para llevar a cabo su tarea, LifeWatch ERIC dispone de un Plan Estratégico de Acción. Todo ello, enmarcado dentro del marco conceptual internacional dado por GBIO, Global Biodiversity Informatics Outlook (González-Aranda *et al.*, 2019).

En esencia, LifeWatch ERIC: *i*) ha creado una infraestructura core TIC robusta que da soporte de coordinación y gestión de su e-Infraestructura distribuida; *ii*) identifica las temáticas que aborden sus VREs, siendo complementarios entre sí y no redundantes, mediante el establecimiento de acuerdos para el acceso de datos con los más importantes organismos, infraestructuras de investigación, empresas y otras instituciones que disponen de datos y realizan mediciones; *iii*) crea e incorpora redes de sensores —incluyendo aquellas asociadas al paradigma *smart city-region* (González-Aranda, 2016), entre otras— en ámbitos insuficientemente estudiados, y establece los mecanismos de alimentación y mantenimiento de las propias bases de datos con los correspondientes

Planes de Gestión de Datos; y *iv*) gestiona todo ello, incluidos los e-Servicios que prestará y las condiciones de acceso: por ejemplo, todo lo relacionado con los Derechos de Propiedad Intelectual (IPR, por sus siglas en inglés), directivas *UE Openness* de obligado cumplimiento por las agencias y organismos medioambientales relacionados, etc.

Con este enfoque se facilitará en gran medida la integración en el análisis de la sostenibilidad económica y social, un nuevo modelo basado en la gestión de los servicios ecosistémicos, que tal como hemos señalado han sido definidos por la IPBES.

5. Conclusiones: oportunidades y responsabilidad colectiva

A lo largo del artículo se ha ido destacando cómo la sostenibilidad de la economía y del sistema social requiere además una sostenibilidad medioambiental. Es más, no puede haber sostenibilidad de la economía sin sostenibilidad del entorno donde se desarrolla. Pero en el ámbito de la protección del medioambiente y de la biodiversidad, incluyendo la gestión sostenible de ecosistemas, la utilización de los registros de datos siempre ha sido básico, y su tratamiento plantea una serie de cuestiones que es necesario afrontar. En la actualidad hay una sobrecarga informativa (infoxicación, infobesidad)¹², lo cual no permite trabajar coherentemente con muchos datos. En ese contexto, y siguiendo el impulso de la Unión Europea, se ha constituido una e-Infraestructura de Investigación, LifeWatch ERIC, dedicada al medioambiente, en particular a la biodiversidad y gestión sostenible de ecosistemas, cuyo objetivo último es mejorar y facilitar el uso de los datos para conseguir análisis más completos y rigurosos, y en especial, análisis de causalidad y modelos de simulación y previsión. LifeWatch ERIC está dirigida a investigadores, *policy makers*, gestores medioambientales, y ciudadanos.

Teniendo en cuenta que esta institución de naturaleza internacional, aún en fase de desarrollo y consolidación, tiene su sede estatutaria y Oficina Central de Coordinación TIC en España, nuestro país tiene una gran oportunidad de liderar el trabajo en este campo, convirtiendo el uso eficiente de los datos, con las técnicas más avanzadas, en una herramienta para la mejora, así como contribuir a profundizar en un enfoque de considerar los servicios ecosistémicos como un criterio de prioridad a la hora de plantear objetivos de sostenibilidad (ONU, 2015). Más aún, su especial posicionamiento geoestratégico en el ámbito de Latinoamérica y del Caribe (EU-LAC)¹³, supone también una excelente oportunidad para reforzar la presencia internacional de los sectores público y privado español.

Como conclusión de todo ello, habría que destacar los siguientes aspectos:

- Para conseguir un desarrollo sostenible, es importante desarrollar propuestas viables fundadas en un análisis riguroso y digestión de los datos. Aportar conocimiento basado en datos científicos ayudará a eliminar la barrera de conformismo y sensación de inevitabilidad que es un freno para la acción.
- España, como impulsora de LifeWatch ERIC y país que lidera la iniciativa, tiene una gran oportunidad que no puede desaprovechar. Y el momento clave es ahora, en su fase de desarrollo y consolidación.
- Además, el uso eficiente de fondos estructurales y de inversión europeos destinados para tal fin, especialmente los regionales en Andalucía (España), Regione Puglia (Italia) y CCDR-N Porto y Alentejo (Portugal), entre otras, permitirá la creación de puestos de trabajo altamente cualificados de amplio espectro multi e interdisciplinar en un entorno de cambio climático global, y el desarrollo de actividades empresariales ligadas (González-Aranda *et al.*, 2014).
- Por último, un campo de especial actividad debe ser la formación y divulgación. La sostenibilidad es

¹² https://es.wikipedia.org/wiki/Sobrecarga_informativa

¹³ https://www.lifewatch.eu/all-news/-/asset_publisher/BU9HdfPGXPak/content/celac-eric/10181

hoy responsabilidad directa de todos los ciudadanos (paradigma de «ciencia ciudadana») y hay que reforzar una conciencia de compromiso con la sostenibilidad medioambiental, con una perspectiva también intergeneracional, podríamos decir que de niet@s a abuel@s y viceversa.

Referencias bibliográficas

- Alonso García, E. (2016). Interoperabilidad legal y otros problemas jurídicos derivados del manejo de datos científicos como big data por servicios web e infraestructuras de la economía del conocimiento. El ejemplo de los datos sobre biodiversidad biológica. *Revista de Privacidad y Derecho Digital*, (3), 141-179. Madrid.
- Ballesteros, F. (2016). Las grandes infraestructuras de investigación: sus objetivos y su papel en el progreso tecnológico. *Información Comercial Española (ICE), Revista de Economía*, (888), 61-81.
- Bibri, S. E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable cities and society*, 38, 230-253. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670717313677>
- European Commission (2019a). <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/eurohpc-joint-undertaking>
- European Commission (2019b). <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/e-infrastructures>
- European Commission (2019c). <https://ec.europa.eu/research/openscience/index.cfm>
- European Commission (2019d). <https://ec.europa.eu/research/openscience/index.cfm?pg=open-science-cloud>
- European Commission (2019e). https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/grants_manual/hi/oa_pilot/h2020-hi-oa-data-mgt_en.pdf
- European Commission (2019f). http://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=esfri
- European Environment Agency EEA (2017). *Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2016. An Indicator Based Report*. Copenhagen. European Environment Agency-EEA Report No 1.
- González-Aranda, J. M. (2016). Structural Funds in support of Research Infrastructures. Synergies with Cohesion Policy and the role of Smart Specialization Strategies: LIFEWATCH example of beneficiary. *RICH2020 Symposium on European Funding Instruments for the development of Research Infrastructures*. <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5b09fd-d12&appId=PPGMS>
- González-Aranda, J. M., Rodríguez-Clemente, R., & Lozano, S. (2008). A Case Study of Communities of Practice and ICT Tools in Knowledge Management on International Cooperation in Science and Technology Research. *WEBIST*, (2), 415-422.
- González-Aranda, J. M., Rodríguez-Clemente, R., & Lozano, S. (2010). E-Research In International Cooperation Networks In Science & Technology Research. In M. Anandarajan & A. Anandarajan (Eds.), *E-Research Collaboration: Frameworks, Tools and Techniques*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag.
- González-Aranda, J. M. et al. (2014). Making a joint use of the EU-FUNDS: Opportunities and challenges associated to European Research Infrastructures. *The 20th APDR Congress. Renaissance of the Regions of the Southern Europe*. Évora, Portugal.
- González-Aranda, J. M. et al. (2018). Trabajo fin de curso programa superior blockchain. *EOI*.
- González-Aranda, J. M. et al. (2019). Facing e-Biodiversity Challenges Together: GBIO framework-based synergies between DiSSCo and LifeWatch ERIC. *Biodiversity Information Science and Standards*. <https://doi.org/10.3897/biss.3.38554>
- IPBES (2019). <http://www.ipbes.net>
- Jones, S. (2011). How to develop a Data Management and Sharing Plan. *DCC Data Curation Center*. <http://www.dcc.ac.uk/>
- Lankovski, L. (2010). Linkages between Environmental Policy and Competitiveness. *OECD Environment Working Papers*, (13).
- LifeWatch ERIC (2019). <http://www.lifewatch.eu>
- Marco de Lucas, J. (2017). Una tendencia, data science, y tres claves: big data, supercomputación y cloud. *Información Comercial Española (ICE), Revista de Economía*, (897), 39-53.
- Oliver, T. H., Isaac, N. J. B., August, T. A., Woodcock, B. A., Roy, D. B., & Bullock, J. M. (2015). Declining resilience of ecosystem functions under biodiversity loss. *Nature Communications*, 6, 10122.
- ONU (1987). *Nuestro Futuro Común*. <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- ONU (2015). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Red Española de Supercomputación (RES) (2019). <https://www.res.es>
- Research Data Alliance (RDA) (2019). <https://www.rd-alliance.org/>
- Rouhianem, L. (2018). *Inteligencia artificial. 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro*. Barcelona: Alienta, Planeta.
- Sukhden, P. (2010). *The Economics of Ecosystems & Biodiversity-TEEB*. Informe realizado a iniciativa del G8+5 e impulsado por la Comisión Europea. <http://www.teebweb.org>
- Top500 (2019). <https://www.top500.org/lists/2018/11/>
- Wanner, J., & Janiesch, C. (2019). Big data analytics in sustainability reports: an analysis base on the perceived credibility of corporate published information. *Business Research*, 12(1), 143-173. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40685-019-0088-4>