

ESTUDIOS

LA IA Y EL FUTURO ENERGÉTICO GLOBAL. REGULANDO LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA HACIA UNA MAYOR SEGURIDAD HUMANA

ROSER MARTÍNEZ-QUIRANTE
COORDINADORA

LA IA Y EL FUTURO ENERGÉTICO GLOBAL.
REGULANDO LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
HACIA UNA MAYOR SEGURIDAD HUMANA

ROSER MARTÍNEZ-QUIRANTE
Coordinadora

La IA y el futuro energético global.
Regulando la transición ecológica
hacia una mayor seguridad
humana

III ARANZADI

© Roser Martínez-Quirante (Coord.) y autores, 2025
© ARANZADI LA LEY, S.A.U.

ARANZADI LA LEY, S.A.U.

C/ Collado Mediano, 9

28231 Las Rozas (Madrid)

www.aranzadilaley.es

Atención al cliente: <https://areacliente.aranzadilaley.es/publicaciones>

Primera edición: Diciembre 2025

ISBN versión electrónica: 978-84-1085-593-9

Diseño, Preimpresión e Impresión: ARANZADI LA LEY, S.A.U.

Printed in Spain

© ARANZADI LA LEY, S.A.U. Todos los derechos reservados. A los efectos del art. 32 del Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba la Ley de Propiedad Intelectual, ARANZADI LA LEY, S.A.U., se opone expresamente a cualquier utilización del contenido de esta publicación sin su expresa autorización, lo cual incluye especialmente cualquier reproducción, modificación, registro, copia, explotación, distribución, comunicación, transmisión, envío, reutilización, publicación, tratamiento o cualquier otra utilización total o parcial en cualquier modo, medio o formato de esta publicación.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la Ley. Diríjase a **Cedro** (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

El editor y los autores no asumirán ningún tipo de responsabilidad que pueda derivarse frente a terceros como consecuencia de la utilización total o parcial de cualquier modo y en cualquier medio o formato de esta publicación (reproducción, modificación, registro, copia, explotación, distribución, comunicación pública, transformación, publicación, reutilización, etc.) que no haya sido expresa y previamente autorizada.

El editor y los autores no aceptarán responsabilidades por las posibles consecuencias ocasionadas a las personas naturales o jurídicas que actúen o dejen de actuar como resultado de alguna información contenida en esta publicación.

ARANZADI LA LEY no será responsable de las opiniones vertidas por los autores de los contenidos, así como en foros, chats, o cualesquiera otras herramientas de participación. Igualmente, ARANZADI LA LEY se exime de las posibles vulneraciones de derechos de propiedad intelectual y que sean imputables a dichos autores.

ARANZADI LA LEY queda eximida de cualquier responsabilidad por los daños y perjuicios de toda naturaleza que puedan deberse a la falta de veracidad, exactitud, exhaustividad y/o actualidad de los contenidos transmitidos, difundidos, almacenados, puestos a disposición o recibidos, obtenidos o a los que se haya accedido a través de sus PRODUCTOS. Ni tampoco por los Contenidos prestados u ofertados por terceras personas o entidades.

ARANZADI LA LEY se reserva el derecho de eliminación de aquellos contenidos que resulten inveraces, inexactos y contrarios a la ley, la moral, el orden público y las buenas costumbres.

Nota de la Editorial: El texto de las resoluciones judiciales contenido en las publicaciones y productos de ARANZADI LA LEY, S.A.U., es suministrado por el Centro de Documentación Judicial del Consejo General del Poder Judicial (Cendoj), excepto aquellas que puntualmente nos han sido proporcionadas por parte de los gabinetes de comunicación de los órganos judiciales colegiados. El Cendoj es el único organismo legalmente facultado para la recopilación de dichas resoluciones. El tratamiento de los datos de carácter personal contenidos en dichas resoluciones es realizado directamente por el citado organismo, desde julio de 2003, con sus propios criterios en cumplimiento de la normativa vigente sobre el particular, siendo por tanto de su exclusiva responsabilidad cualquier error o incidencia en esta materia.

Consejo Asesor Aranzadi LA LEY

D. Luis María Cazorla (Presidente)
Presidente de la Real Academia de Jurisprudencia y Legislación de España

D. Alberto Palomar (Secretario)
Magistrado de lo contencioso-administrativo (EV)

D. Ricardo Alonso
Catedrático de Derecho Administrativo y de la UE

D. Moisés Barrio
Letrado del Consejo de Estado

D. Jacobo Manuel Barja de Quiroga López
Presidente de la Sala de lo Militar del Tribunal Supremo

D. Alfredo Berges
Presidente de UNE

D.^a Sonia Calaza
Decana de la Facultad de Derecho de la UNED
Catedrática de Derecho procesal de la UNED

D.^a Concepción Campos
Experta en Gestión Pública y Presidenta de la Asociación de Mujeres en el Sector Público

D.^a Ana Belén Campuzano
Catedrática de Derecho mercantil de la Universidad CEU San Pablo

D. Adolfo Díaz Ambrona
Secretario General de la Cámara de Comercio de España

D. Antonio Fernández de Buján y Fernández
Académico de Número de las Reales Academias de Jurisprudencia y Legislación de España y de Galicia

D.^a Isabel Fernández Torres
Catedrática (Ac.) de Derecho Mercantil

D.^a Ana Fernández-Tresguerres
Notaria de Madrid

D. José Luis García Delgado
Catedrático de Economía Aplicada. Univ. Nebrija

D.^a Piedad García-Escudero
Letrada de las Cortes Generales

D. Rafael García Meiro
Consejero Delegado/CEO de AENOR

D. Isaac Merino Jara
Magistrado del Tribunal Supremo (Sala de lo Contencioso-Administrativo)

D.^a Encarnación Roca
Catedrática de Derecho Civil

D. Antonio V. Sempere Navarro
Magistrado del Tribunal Supremo

D.^a Rosario Silva
Abogada del Estado

D. Eduardo Torres-Dulce
Fiscal

Comité científico

María Teresa Fernández de la Vega
Presidenta Honorífica Cátedra Manuel Ballbé

Antoni Milian i Massana
Catedrático de Derecho Administrativo. Universitat Autònoma de Barcelona

Ricardo Alonso García
Catedrático de Derecho Administrativo. Universidad Complutense de Madrid

Blanca Lozano Cutanda
Catedrática de Derecho Administrativo. CUNEF Universidad

Manuel Montobbio de Balanzó
Diplomático - Embajador de España en la República de Finlandia

Todos los capítulos que integran esta obra han sido sometidos a evaluación por pares en modalidad de doble ciego, realizada por dos especialistas externos por capítulo. La revisión se llevó a cabo con arreglo a los criterios metodológicos, temáticos y de estilo definidos por la editorial, bajo declaración y gestión de conflictos de interés, con dictámenes motivados y verificación de cambios antes del aval final del Comité Científico.

Índice General

Página

INTRODUCCIÓN

REVOLUCIÓN DIGITAL, SOCIEDAD Y DERECHO

ALBERTO ALONSO-UREBA..... 15

1. La irrupción de la tecnología digital como elemento transformador del modelo social, económico y cultural 15
2. Una nueva perspectiva de la tecnología digital: la evolución de los modelos o sistemas de inteligencia artificial 21

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ESTADOS UNIDOS: ESPECIAL MENCIÓN A SU USO EN EL SECTOR ENERGÉTICO

ANTONIO MORALES-PLAZA 27

1. Introducción..... 28
2. El desarrollo normativo de la IA en Estados Unidos 32
 - 2.1. Federal 34
 - 2.1.1. Las Órdenes Ejecutivas de Donald Trump y Joe Biden 35
 - 2.1.2. Otras iniciativas del gobierno y agencias federales 39
 - 2.1.3. Iniciativas del Congreso 40
 - 2.2. Estatal..... 40
3. La IA, ¿acelerador o freno en la transición ecológica?..... 42
 - 3.1. La IA como acelerador de la transición energética 42
 - 3.2. Iniciativa AI for Energy 45

	<u>Página</u>
3.2.1. Energía nuclear	45
3.2.2. Red eléctrica	47
3.2.3. Gestión del carbono	50
3.2.4. Almacenamiento energético	51
3.2.5. Materiales energéticos	52
3.3. <i>El papel de la IA en el desarrollo de energías renovables.....</i>	52
3.4. <i>La IA como potencial freno de la transición ecológica.....</i>	56
Conclusión.....	59
Referencias	60
 EL PAPEL DE LA IA EN LA DIGITALIZACIÓN Y REFORMA DEL MERCADO EUROPEO DE LA ELECTRICIDAD	
CARLOS PADROS-REIG	67
1. Introducción.....	68
2. Impacto de la digitalización en el mercado de la electricidad. El EU Action Plan y la comunicación de la Comisión (COM (2022) 552, final)	74
2.1. <i>Ejemplos concretos que ilustran los cambios.....</i>	75
2.2. <i>Cambios regulatorios.....</i>	82
3. Nueva regulación para una nueva realidad. El Reglamento (EU) 2024/1747 de 13 de junio, y Directiva (EU) 2024/1711 de 13 de junio	86
3.1. <i>Adaptación de los mercados intradía a la irrupción de las energías renovables.....</i>	86
3.2. <i>Creación de mecanismos de aplanamiento de la variabilidad del consumo</i>	88
3.3. <i>Base jurídica para el tratamiento de datos</i>	89
3.4. <i>Mercados a plazo (Power Purchase Agreements (PPA) o, en castellano, Contratos de Compra de Energía (CCE)</i>	89
3.5. <i>Contratos bidireccionales por diferencia.....</i>	91
3.6. <i>Consumidores activos.....</i>	92
Conclusiones.....	94
Referencias	95

EL FUTURO EN JUEGO: CAMBIO CLIMÁTICO, RED ELÉCTRICA Y LA GRAN CARRERA HACIA LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERAL

JOAQUÍN DAVID RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ.....	97
1. Introducción	98
2. Contexto	100
3. Inteligencia Artificial: concepto, promesa y coste energético	112
4. Los centros de datos y los GPU como ejemplo relativo a las necesidades de energía de la IA y sus proyecciones futuras.	118
5. La Red Eléctrica y la carrera por la energía	129
Conclusiones	143
Referencias	144

EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO INSTRUMENTO EN LA GESTIÓN DE LAS SOCIEDADES DE CAPITAL

FRANCISCO JAVIER ARIAS-VARONA Y ANDRÉS RECALDE-CASTELLS	153
1. Introducción	155
2. Gobierno de sociedades y uso de la inteligencia artificial: su proyección sobre los deberes de los administradores (<i>Corptech</i>)	159
2.1. <i>Planteamiento</i>	159
2.2. <i>La IA, el deber de diligencia y la regla de la discrecionalidad empresarial</i>	160
2.3. <i>La IA y el deber de lealtad de los administradores</i>	165
2.4. <i>El uso de la IA y la persecución de objetivos ajenos a los fines lucrativos de los socios; el caso de las misiones u objetivos (purposes) de carácter no lucrativo</i>	167
3. El control del uso de la inteligencia artificial y la IA como instrumento para controlar el funcionamiento de la empresa	168
3.1. <i>Deberes de control con relación al uso de la IA</i>	169
3.2. <i>El uso de la IA como herramienta para favorecer la vigilancia y el adecuado control del riesgo de la empresa</i>	172
4. El uso de la inteligencia artificial como herramienta de mejora en la composición y organización del consejo de administración	174

	<u>Página</u>
4.1. <i>El uso de la IA en la selección de candidatos a administradores: en particular su utilidad para valorar el mérito, conocimientos técnicos y la diversidad de los consejeros</i>	174
4.2. <i>Ni el uso de la IA ni sus propuestas relativas al nombramiento de administradores deben considerarse vinculantes</i>	176
5. La IA como instrumento autónomo en la toma de decisiones (robo-directors)	177
Conclusiones	179
Referencias	181
 LA INTERSECCIÓN DEL DERECHO ADMINISTRATIVO Y LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: IMPLICACIONES PARA LA SEGURIDAD HUMANA	
ROSER MARTÍNEZ-QUIRANTE	183
1. Introducción y objetivos	185
2. Reconceptualizando la Seguridad Humana: de los enfoques tradicionales a los modelos algorítmicos	187
2.1. <i>La nueva minería para la IA: las empresas oligopolistas de los datos</i>	190
2.2. <i>Garantizar la Seguridad Humana para tener una Seguridad sin sesgos: del Big Data al Big Knowledge</i>	193
2.3. <i>Límites de la Gobernanza Artificialmente Inteligente en el Sector Energético: Tipos de Automatización de Procesos</i>	195
3. Derecho Administrativo y las Decisiones Discrecionales ante la IA	198
4. Algoritmos como fuente del Derecho administrativo	200
5. Desafíos Jurídicos y Éticos: La Opacidad de los Algoritmos	202
6. La Solución a un Estado de Excepción Algorítmico: Regulación y Control de la IA	205
6.1. <i>Estandarización de los Algoritmos como Límite a su Uso</i>	205
6.2. <i>Efecto California, Efecto Bruselas... o Efecto Beijing</i>	207
7. El Uso de la IA por Parte de Privados en el Desarrollo de Servicios de Interés General o Funciones Públicas	210
Conclusiones	211
Referencias	213

Introducción

Revolución digital, sociedad y derecho

ALBERTO ALONSO-UREBA

Catedrático de Derecho Mercantil

Universidad Rey Juan Carlos de Madrid

SUMARIO: 1. LA IRRUPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL COMO ELEMENTO TRANSFORMADOR DEL MODELO SOCIAL, ECONÓMICO Y CULTURAL. 2. UNA NUEVA PERSPECTIVA DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL: LA EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS O SISTEMAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL.

1. LA IRRUPCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL COMO ELEMENTO TRANSFORMADOR DEL MODELO SOCIAL, ECONÓMICO Y CULTURAL

Constituye un elemento común a la investigación y formación en el ámbito de las distintas disciplinas jurídicas que delimitan su ámbito de aplicación *ratione materiae*, el análisis permanente de las transformaciones y cambios en las distintas materias objeto de regulación, es decir, en la realidad social, económica... subyacente a los distintos institutos jurídicos públicos y privados. Y sin duda la llamada revolución digital, que en esencia es un nuevo marco tecnológico al servicio de las relaciones sociales en su sentido más amplio, está suponiendo un nuevo paradigma que trasciende de manera general al entorno social, cultural, económico e incluso ideológico, de modo que su significación va más allá de su incidencia concreta en una u otra institución jurídica pública o privada.

Entre otros, son elementos definidores de este nuevo entorno socio-digital, la globalización de las llamadas redes sociales creadas sobre soporte digital, la capacidad de acumular/segmentar/transmitir/instrumentalizar/

registrar/ordenar la información sobre la base de la acumulación de datos, la autonomía e interconexión de los sistemas y con ello de las redes digitales...., todo lo cual está generando una dimensión de la sociedad civil que supera los componentes de territorialidad ligados a estructuras básicas del modelo de sociedad heredado, como son los conceptos de soberanía, jurisdicción, poder político e incluso el concepto mismo de Estado y ciudadano, creándose nuevas formas de interconexión social que superan las identidades político territoriales, a la vez que surge la necesidad de atender exigencias de transparencia, seguridad, protección y equilibrio entre los intereses en juego. En definitiva, una tecnología que está transformando las relaciones sociales a través de sistemas de comunicación así como de integración, registro, difusión y uso de la información, a lo que más recientemente se han ido añadiendo las distintas modalidades de la denominada inteligencia artificial (IA) todo lo cual redefine el hábitat, las capacidades y los comportamientos del individuo en su vertiente profesional, económica, política y social, planteándonos la revisión de determinados axiomas de nuestro *modus vivendi*.

Junto al ideario de la Declaración de los derechos del hombre y del ciudadano, la revolución técnico industrial de finales del XVIII y XIX también trascendió al contexto social, político y económico de la sociedad europea y supuso una profunda transformación de la misma. El tránsito humano a las grandes urbes industriales implicó la toma de conciencia de la confrontación ideológica subyacente a las desigualdades generadas por el modelo industrial, cuestionando la creación de riqueza y su distribución a través del mercado, rompiendo finalmente el modelo liberal de Estado hacia nuevas formas de intervención pública en lo social y en lo económico. El movimiento de masas, la canalización al mercado de los recursos económicos ligados al ahorro que sirvió de base a la industrialización de Europa y la propia crisis financiera de final del siglo XIX, dan lugar a una transformación de nuestras instituciones políticas y económicas, así como del sistema jurídico como expresión normativizada del modelo de sociedad y de estado, contraponiéndose a comienzos del XX dos Europas en las que se confrontaron mercado a planificación y libertad a igualdad.

La conciencia histórica ahora de lo que supuso «lo industrial» nos genera la inquietud sobre lo que supondrá «lo digital». Se están produciendo fenómenos nuevos, pero en alguna forma paralelos a lo que implicó la industrialización. Se canaliza el ahorro hacia el sistema productivo pero frente a la tradicional financiación bancaria van surgiendo nuevas formas de financiación y capitalización de las empresas, fundamentalmente de pymes y *startups*, bajo el llamado *contexto Fintech*, en el que estructuras digitales sur-

gidas de la aplicación de la tecnología *blockchain* representan una alternativa creciente a la intermediación bancaria, generándose plataformas digitales que permiten un contacto directo entre el inversor y el demandante de fondos, facilitándose la colaboración entre las partes interesadas y creándose instrumentos financieros específicos; surge así, por ejemplo, una financiación «participativa» o de «masas» a través de las plataformas *crowdfunding* en sus distintas modalidades, tras lo cual emerge en muchas ocasiones un nuevo «*venture capital*». De otro lado, frente a la propiedad industrial generada e institucionalizada en el siglo XIX (nombres comerciales, marca, rótulos, patentes...), surgen ahora nuevas formas de propiedad intelectual ligadas a activos intangibles como la denominada inteligencia artificial basada en sistemas informáticos que reúnen habilidades asociadas a la inteligencia humana. A su vez, frente a la protección del mercado a través de la normativa de defensa de la competencia (acuerdos restrictivos, abuso de posición dominante, control de las concentraciones, ayudas públicas...) y competencia desleal, emergen ahora los *Cloud Computing* o sistemas de almacenamiento digital de datos, que unidos a la tecnología *Big Data* permiten la lectura, procesamiento y gestión masiva de datos, lo que combinado con la estadística facilita el predecir conductas, planteándose la necesidad de acomodar el marco competitivo a las oportunidades y posibilidades que ofrece esta tecnología. Asimismo, frente a la protección de la parte débil (el consumidor o usuario) en las relaciones económicas (régimen sobre condiciones generales de la contratación, integración de los contratos por la publicidad, responsabilidad de la cadena de intermediarios desde el fabricante hasta el consumidor final...), ahora aflora «la protección de los datos» como instrumento necesario para preservar el ámbito de privacidad/autonomía del consumidor. Y frente a la significación de las divisas o monedas como medios de pago y de valoración, surgen de la mano de la tecnología *Blockchain*, las llamadas criptomonedas (*Bit-coin*) basadas en sistemas de registro desintermediados (*Distributive Ledger*/DTL) que suponen, frente a la emisión de acciones o valores de deuda, la creación de una moneda o «valor monetario» representado digitalmente, sin ubicación territorial y sin un sujeto responsable identificado del conjunto del sistema, creándose vías con capacidad para relacionar a miles de sujetos, a la vez que se desdibujan los hasta ahora actores u operadores tradicionales.

Esta economía de base digital genera nuevos productos o servicios con escalas de costes mucho más reducidas en proporción a las posibilidades de difusión que ofrece, dando lugar a nuevas formas de desarrollo de actividades económicas (*Fintech Firms* o *Insurtech* en los sectores financieros o de seguros; los llamados «neobancos», que utilizan aplicaciones móviles

en sus relaciones con clientes; los monederos digitales en los sistemas y servicios de pago; las plataformas de negociación electrónica para la gestión de activos...). La regulación de esta economía digital plantea, sin embargo, problemas paralelos a los que surgen en los sectores de actividad económica más tradicionales: certeza y previsibilidad de las conductas, imputación o responsabilidad última del funcionamiento de los sistemas informatizados que sirven de base a estas actividades, formas jurídicas que pueden adoptar los titulares o responsables de los sistemas o plataformas, mecanismos apropiados de transparencia en las relaciones de base digital, configuración de algunos de estos sectores de actividad como ámbitos regulados sujetos a supervisión, identificación de intereses y sus conflictos. A su vez, se reiteran y agudizan los aspectos de deslocalización, indeterminación del derecho aplicable y jurisdicción competente o disrupción fiscal. La singularidad deriva de que, en estos casos, la herramienta tecnológica conforma el producto, servicio o actividad económica, siendo por ello determinante para entender la actividad misma. Solo a partir de la aprehensión y entendimiento de lo tecnológico cabrá dar respuestas adecuadas desde el punto de vista de política y de técnica jurídica. En algunos casos, creando conceptos jurídicos específicos (sello digital, sitio web, sistemas de registro desintermediado...), en otros, dando lugar a nuevas formas negociales en cuanto a la forma de determinación de su contenido y ejecución (los *Smart Contracts*) o reservando ciertas formas de empresa para el desarrollo de actividades económicas con soporte digital. No solo se plantean nuevos paradigmas de gestión empresarial sino, además, una nueva percepción de los *stakeholders*; sus intereses y la forma de integración de los mismos, en definitiva, el gobierno de la empresa digital.

Todavía estamos en una fase inicial de entendimiento fáctico de lo digital para poder hacer su traslación al ámbito normativo. Prueba de ello es la Agenda Digital asumida por la Unión Europea (COM 2010) como base general de innovación económica y, a su vez, la penetración de la tecnología digital en las regulaciones concretas que pretenden desarrollar el mercado único sobre la base de las libertades de movimientos de personas, establecimientos y capitales, siendo un exponente de ello el plan de acción de 2015 de la Comisión Europea para la creación del *Capital Union Market* en el que se impulsan nuevas formas de capitalización de las empresas con apoyo en las nuevas tecnologías.

La tecnología digital se inserta además en las tradicionales construcciones de Derecho Privado, como es el caso de la parte general de obligaciones y contratos, afectando a la identificación de las partes negociales, a las formas

de expresión/comunicación/recepción de las voluntades/consentimiento, generando a su vez nuevas vías de integración del contenido negocial y de prueba del mismo, transformando incluso el tratamiento de los incumplimientos y sus efectos. Una manifestación de este contexto negocial digitalizado son los referidos *Smart Contracts* que, por ejemplo, posibilitan transacciones sobre la base de la representación digital de un activo real (*token*), definiéndose además digitalmente tanto los compromisos de las partes como el cumplimiento de los mismos, de modo que los acuerdos no puedan ser modificados y se autoejecutan sobre la base de protocolos informáticos.

En este ámbito negocial de base digital o electrónica viene a incidir el Reglamento 9010/2014, relativo a la identificación electrónica y los servicios de confianza para las transacciones electrónicas en el mercado interior. Su objetivo es precisamente reforzar la confianza en las transacciones electrónicas incrementando la seguridad y eficacia de los servicios en línea, públicos y privados, los negocios electrónicos y el comercio electrónico en la Unión. A estos efectos, se promueve el reconocimiento mutuo de la identificación electrónica, los documentos y firmas electrónicas, así como los servicios de entrega electrónica, propiciando también unos servicios de administración electrónicas interoperables en toda la Unión Europea. Y en ese contexto surgen los prestadores de servicios de confianza y la creación de organismos de supervisión, regulándose además los llamados «sellos electrónicos» y los «servicios de autenticación de sitios web», en definitiva, las herramientas de una economía de base digital.

Además, la tecnología digital se va insertando de manera cada vez más generalizada en distintos aspectos de los institutos jurídicos privados. En el ámbito societario, por ejemplo, los nuevos mecanismos técnicos informatizados de comunicación y traslado de información están transformando el marco de las relaciones internas o intrasocietarias. Más allá del ejercicio de los derechos básicos del accionista (información, representación, voto), los medios de comunicación a distancia de carácter electrónico, la participación misma en la junta general por estas nuevas vías o la representación de la posición de socio en registros contables informatizados, se plantea ahora una profundización en la transparencia de la relación sociedad-socio, imponiéndose en la Directiva 2017/828 sobre implicación de los accionistas, obligaciones de identificación de los mismos, de transmisión de información desde la sociedad a los accionistas y de estos a la sociedad, así como de facilitación del ejercicio de determinados derechos del socio, todo lo cual solo es posible desde la utilización de estas nuevas tecnologías. Basten como ejemplos las redes de *blockchain* para registrar y computar el voto o

para registrar el envío de las instrucciones de voto que los inversores finales remitan a los custodios globales (titulares registrales en España) a través de plataformas electrónicas. La nueva propuesta de Directiva 2017/1132 en lo que respecta a la utilización de herramientas y procesos digitales en el ámbito del derecho de sociedades constituye un ejemplo claro en la dirección señalada, promoviendo soluciones digitales para los trámites necesarios a lo largo del ciclo de la vida de la sociedad, como es el caso de la regulación del registro electrónico de sociedades en el marco del mercado único digital, uniformando las normas relativas al registro, presentación de documentos y publicación por medios electrónicos, lo que incidirá en el funcionamiento de los registros públicos tradicionales.

Y estos cambios se dan igualmente al trasladar esta tecnología digital a otros ámbitos jurídicos públicos o privados, e incluso a la organización y funcionamiento de las administraciones y organismos de toda naturaleza (tribunales, instancias públicas de supervisión, prestación de servicios públicos y control de los mismos...).

Pero detengámonos, como método discursivo, en un ámbito concreto, el de la empresa y su aprehensión por el derecho, para analizar la incidencia en las relaciones entre empresa y derecho de lo que fue la «revolución técnico-industrial» del XIX frente a lo que está generando la «revolución técnico-digital» del XXI. En primer lugar, no se cuestiona la idea de mercado como foro de concurrencia de la oferta y la demanda. Tampoco desaparecen los grandes sectores que aglutinan la actividad económica: comercio/intercambio, industria/producción, servicios y financiación. Subsisten los operadores en el mercado que pueden optar entre distintas formas de organización e imputación de responsabilidad. Y se mantiene la correspondencia entre poder/autonomía y responsabilidad como expresión del amparo de la iniciativa en el ámbito económico. La transformación digital es, en una primera fase, esencialmente instrumental, sin perjuicio de su profunda huella social, política y económica. La digitalización de la información y de las comunicaciones, su capacidad como herramienta de gestión, análisis, su seguridad como mecanismo de registro de decisiones y transacciones, así como de representación de valores, su virtualidad normativa a través de los protocolos informáticos... da lugar a nuevas formas de colocación de productos o prestación de servicios, vías alternativas de financiación, nuevas formas de concurrencia de la oferta y la demanda..., y en este sentido transforma, pero no sustituye ni elimina las bases del modelo económico: operador/iniciativa y mercado. Y a la vez requiere de un instrumento técnico-jurídico adaptado a este operador digital, produciéndose una situación

que es recurrente en épocas de cambios sustanciales en la realidad socioeconómica: inadecuación de las normas existentes, gran número de lagunas, proliferación de relaciones atípicas frente a los tipos normativos y todo ello con los consiguientes problemas de aplicación normativa. No es tarea fácil y existe el riesgo de crear falsas especialidades impulsadas por los «*insiders*», proveedores exclusivos del «nuevo saber».

Podemos hablar de nuevos productos o servicios, de nuevos canales y formas de gestión, comunicación, financiación.... Pero esta economía digitalizada no permite concluir que no es el sistema de producción o distribución de bienes, servicios o capitales, y en última instancia la organización y el tráfico empresarial en régimen de mercado, la realidad que sigue siendo el subyacente a un conjunto normativo privado, económico y especial, tradicionalmente identificado como Derecho Mercantil.

2. UNA NUEVA PERSPECTIVA DE LA TECNOLOGÍA DIGITAL: LA EVOLUCIÓN DE LOS MODELOS O SISTEMAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En este nuevo contexto tecnológico digital adquiere identidad propia, específica, la llamada Inteligencia Artificial, cuyo efecto disruptivo trasciende la esfera de lo económico, incidiendo de forma aún indeterminada respecto a su alcance real, en las bases de nuestro sistema o modelo social, político y cultural, planteando cómo afecta al ámbito de pensamiento, libertad y dignidad del individuo una tecnología que en su modalidad más avanzada va más allá de servir de instrumento de asesoramiento, apoyo o consulta (Assisted IA, Advisory IA). La llamada IA autónoma o *generativa* representa la automatización de comportamientos inteligentes que emulan las capacidades del ser humano, de modo que el sistema o herramienta de IA puede adquirir y aprender conocimientos a partir de volúmenes de datos, procesamientos y entrenamientos algorítmicos (machine learning, training, deep learning...), con capacidad de autoaprendizaje, de evaluar opciones y de proponer incluso decisiones, y ello de forma proactiva, sin asistencia humana, de manera que sus evaluaciones/propuestas dejan de estar condicionadas por algoritmos predeterminados, hablándose al respecto de cadenas de redes neuronales artificiales (TPU) en referencia a su aproximación al proceso de conocimiento y discernimiento humano.

Ante una sensación extendida recientemente en la ciudadanía de poner en duda la capacidad y eficacia de la Unión Europea para asegurar y contribuir al desarrollo de los valores que, por encima del utilitarismo económico,

sustentan el ideario humanista fruto de la larga autoconstrucción de Europa a partir de sus propias rupturas y contradicciones, y bajo el contexto de un creciente marco regulatorio europeo en muy distintos ámbitos (protección de los consumidores, transparencia frente a los mercados/ciudadanos, normativa sobre abuso de mercado/concentración y prohibición de Kartelles, armonización del régimen de los mercados de capitales en protección de los inversores...), emerge una nueva normativa que, pese a ser valorada negativamente, y con razón en muchos de sus aspectos, representa y expresa, sin embargo, el esfuerzo humanista de un pensamiento que, sin perjuicio de los acentos ideológicos propios de una sociedad libre, se adelanta y anticipa a la necesidad de hacer frente a diferentes elementos que definen un modelo de sociedad sostenible (derechos humanos, medioambiente, anticorrupción...), pese a las cargas y costes que ello conlleva, y que se adelanta igualmente a los riesgos que para nuestra sociedad implica la revolución tecnológica digital ligada a la IA, sin perjuicio de las grandes oportunidades de crecimiento e innovación que representa. En este contexto, se sitúan las recientes Directivas CSRD y CS3D sobre Sostenibilidad, la Directiva NIS2 sobre Ciberseguridad, así como el Reglamento IA 2024/1689, entre otras iniciativas comunitarias.

Resulta en este sentido enormemente difícil y arriesgado delimitar, por ejemplo, los riesgos ligados a las nuevas formas de IA autónoma, el alcance real de los mismos, y cómo equilibrar proporcionadamente la protección frente a dichos riesgos y, a la vez, no restringir el impulso de innovación que representa. Estamos ante nuevas tecnologías que, por su disrupción respecto de los estándares actuales de la ciencia, la cultura y el conocimiento, resultan difíciles de entender y aprehender en su concepción, contenido..., para a partir de ello introducir normas, regulaciones, no que limiten estas tecnologías, sino que las armonicen con los valores humanistas de pensamiento, libertad y dignidad.

No suena probablemente bien. Pero bienvenida la anticipación frente al vacío, la laguna, la inseguridad..., es decir, lo que la norma, el Derecho, quizás torpemente, pretende afrontar sobre la base del equilibrio entre intereses plurales legítimos y riesgos, en la búsqueda de resultados justos y proporcionados. El Reglamento IA responde a una política jurídica que antepone el control de los riesgos a la protección de la innovación que supone una tecnología que, quizás por primera vez, sirve al «ser humano», pero asimismo crea un «ser tecnológico» que puede determinar conductas, valoraciones, creaciones..., sin que conozcamos aún cuáles deben ser los límites y la forma de introducirlos.

El Reglamento IA pretende ofrecer un marco jurídico para el desarrollo e introducción en el mercado, puesta en servicio y utilización de los sistemas de IA. Se exige para su puesta en práctica, fiabilidad y ética, supervisión humana, solidez técnica y seguridad, y gestión y uso lícito de la privacidad de los datos. A partir de dichos principios, se prohíben ciertas prácticas de IA (en cuanto implican riesgos inaceptables para los derechos y libertades fundamentales), se establecen requisitos para los sistemas de IA calificados de alto riesgo (en cuanto susceptibles de afectar a derechos fundamentales de las personas o su seguridad de manera significativa) y se establecen obligaciones especiales de transparencia frente a los usuarios respecto de aquellos sistemas de IA que se consideran de riesgo asumible o limitado, como es el caso de los llamados modelos de IA de uso general, que antes de su introducción se someten a evaluaciones de impacto, a pruebas para detectar y mitigar posibles riesgos, requisitos de transparencia respecto del contenido utilizado para el entrenamiento y niveles adecuados de ciberseguridad, entre otros aspectos.

Junto a esta perspectiva predominante de control de riesgos, lógica quizás en esta fase de insuficiente aprehensión de lo que puede implicar esta tecnología, se sitúan también medidas de apoyo a la innovación. Se regulan los denominados Sandboxes como espacios de prueba controlados para que los proveedores de modelos de IA los sometan a supervisión bajo el control de autoridades creadas ad-hoc al respecto; se crea una Oficina Europea de IA para el apoyo y asesoramiento a proveedores y desarrolladores de sistemas de IA; se establecen vías de estandarización o certificación de dichos modelos o sistemas; y se incentiva el acceso de las pymes a esta tecnología sobre la base de inversión en formación. Y lógicamente junto al control de riesgos y el apoyo a la innovación, se establecen las correlativas normas sancionadoras cuando no se respetan las prohibiciones establecidas, se incumplen obligaciones, se aporta información inexacta...

Son muchos y de diversa entidad los aspectos que, frente a la llamada IA débil, de apoyo o consulta (Assisted IA, Advisory IA), plantea la IA autónoma o generativa desde el punto de vista regulatorio, y no solo respecto de los desarrolladores, proveedores o fabricantes de productos IA, que son los operadores que fundamentalmente contempla el Reglamento IA desde una perspectiva ética y de protección de derechos fundamentales. Surgen también cuestiones en torno a la accesibilidad / propiedad de los datos y cómo ello afecta a la competitividad, la propiedad sobre los propios sistemas de IA, la insuficiencia de categorías tradicionales como los derechos de autor o la propiedad intelectual e industrial para la protección de la innovación

en el marco de los sistemas de IA, o qué régimen de responsabilidad aplicar respecto, en particular, de la IA autónoma o generativa.

No es, ni puede ser, objeto de esta introducción descender a aspectos concretos del régimen de la IA, sobre todo en su modalidad generativa o autónoma, y cómo dicho régimen debe conjugarse con los distintos institutos jurídicos públicos y privados, e incluso con nuestra organización social, económica, política y judicial, ámbitos donde también llega la IA en sus distintas modalidades. Solo cabe abrir un debate enormemente rico y diverso, y que en relación con la IA autónoma suscita cuestiones que hasta ahora los cambios tecnológicos digitales no habían planteado. Y este es el gran valor de la aportación de la Unión Europea a través del Reglamento IA. Este aporta ciertamente un marco jurídico limitado, incierto en muchos aspectos, susceptible de distintas interpretaciones y, por tanto, con dificultad en su aplicación, pero que al final, acertada o desacertadamente, genera una serie de obligaciones y limitaciones para quienes son destinatarios de dicha normativa. Se habla del Ecosistema de la IA en el que actúan operadores muy distintos: los proveedores de centros de datos y servicios en la nube que dan la capacidad de computación que requieren los modelos de IA; los modelos de operadores de telecomunicaciones que garantizan infraestructuras de redes; empresas energéticas para alimentar los centros de provisionamiento de datos; y, por supuesto, los creadores o desarrolladores de los propios modelos o sistemas de IA.

Cada uno de estos operadores deberá establecer su propio Modelo de Gobernanza en materia de IA, el cual vendrá determinado por las características y singularidades de los sectores o ámbitos de uso de la IA (educativo, cultural, investigación aplicada...). Y entre estos sectores se sitúa también el empresarial, en la medida que el uso de los sistemas de IA se extiende a cuestiones operativas, de control interno o compliance, de establecimiento de estrategias empresariales, gestión de riesgos, comportamientos de competidores, evaluación e información sobre los mercados... Y en cada uno de estos sectores o ámbitos nos encontramos ante una autogobernanza, en el sentido de que serán los distintos operadores del Ecosistema de IA los que, en función de sus actividades y ámbitos en el que actúen, deberán establecer sus Modelos de Gobernanza interna en materia de IA que garanticen el cumplimiento de las obligaciones y el respeto a los límites que el marco general regulatorio de la IA establezca en cada momento. Y es en esta autogobernanza donde la sociedad civil, los operadores que actúan en la misma, deberán asumir también su responsabilidad ante los retos de esta nueva tecnología.

Volviendo al ámbito empresarial, aun cuando ello puede extenderse a otros sectores públicos y privados, a la difícil comprensión en toda su amplitud de la tecnología digital de última generación, se suma la dificultad para ajustar la construcción técnico-jurídica de estas nuevas realidades a criterios adecuados de política jurídica. Debemos cuidar que este nuevo contexto tecnológico no ponga en riesgo el acervo axiológico vinculado a la Economía Social de Mercado como representación constitucional del modelo de sociedad. La eficiencia económica disruptiva de la economía digital, con la consiguiente reducción de costes de agencia, es una referencia valorativa legítima, como lo es también la innovación ligada a la andante IA generativa, pero el Derecho no está al servicio ni exclusivo ni prevalente de la racionalidad económica o del utilitarismo técnico, de modo que la maximización de la riqueza y la innovación sean la expresión del objetivo político social último. La jurisprudencia de intereses introduce otros elementos valorativos al tomar en consideración la realidad social sobre la que ha de proyectarse un Derecho de nueva creación ligado a una tecnología disruptiva no solo en lo económico sino también respecto de las bases de pensamiento, libertad y dignidad que fundamentan nuestro modelo de sociedad. La identidad digital descentralizada, el procesamiento masivo de datos, la creación de sistemas/redes planos, en cuanto permiten la interconexión e interoperatividad, y universales o carentes de referencia territorial, y en última instancia los modelos o sistemas de IA.... son herramientas que en su proyección sobre los distintos ámbitos que integran nuestro modelo de sociedad, deben estar al servicio de la dignidad y libertad del ser humano en un contexto de desarrollo sostenible, siendo esta tarea una función esencial del jurista y de la Ciencia Jurídica al aprehender estas nuevas realidades.

La inteligencia artificial en Estados Unidos: especial mención a su uso en el sector energético

ANTONIO MORALES-PLAZA
Socio de Baker McKenzie Madrid
Abogado del Estado en excedencia

SUMARIO: 1. INTRODUCCIÓN. 2. EL DESARROLLO NORMATIVO DE LA IA EN ESTADOS UNIDOS. 2.1. *Federal*. 2.1.1. Las Órdenes Ejecutivas de Donald Trump y Joe Biden. 2.1.2. Otras iniciativas del gobierno y agencias federales. 2.1.3. Iniciativas del Congreso. 2.2. *Estatal*. 3. LA IA, ¿ACELERADOR O FRENO EN LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA? 3.1. *La IA como acelerador de la transición energética*. 3.2. *Iniciativa AI for Energy*. 3.2.1. Energía nuclear. 3.2.2. Red eléctrica. 3.2.3. Gestión del carbono. 3.2.4. Almacenamiento energético. 3.2.5. Materiales energéticos. 3.3. *El papel de la IA en el desarrollo de energías renovables*. 3.4. *La IA como potencial freno de la transición ecológica*. CONCLUSIÓN. REFERENCIAS.

Resumen

El presente capítulo examina la gobernanza de la inteligencia artificial en Estados Unidos, centrando el foco de análisis en su despliegue en el sector energético. Parte de las Órdenes Ejecutivas federales de 2020 y 2023 y del entramado legislativo estatal para trazar un marco de principios, como la seguridad, la confianza y la transparencia, y de herramientas institucionales NIST, DOE, NRC. Asimismo, en clave comparada, contrasta el enfoque estadounidense con el Reglamento europeo de IA y las medidas chinas sobre servicios generativos.

En el ámbito energético, el trabajo aquí desarrollado aborda los usos de la IA a nivel nuclear, de operación y de mantenimiento de redes, gestión de almacenamiento y una serie de nuevas propuestas tecnológicas, junto con las tendencias corporativas PPA y los acuerdos para alimentar centros de datos. Este análisis integra evidencias recientes sobre consumo eléctrico y huella

climática de la IA, y plantea el dilema regulatorio de acelerar innovación y competitividad sin desalinearse de los objetivos de descarbonización ni de la protección de derechos.

Abstract

The present chapter examines the governance of artificial intelligence in the United States, focusing its analysis on deployment within the energy sector. It takes as its point of departure the federal Executive Orders of 2020 and 2023 and the patchwork of state legislation to outline a framework of principles, such as safety, *trust*, and transparency, together with the institutional instruments of NIST, the DOE, and the NRC. In comparative perspective, it contrasts the US approach with the European Union's AI Act and China's measures on generative services.

Within the energy domain, the chapter addresses applications of AI in the nuclear field, grid operation and maintenance, storage management, and a set of emerging technological proposals, alongside corporate trends such as PPAs and agreements to power data centres. The analysis integrates recent evidence on AI's electricity consumption and climate footprint, and identifies the regulatory dilemma of accelerating innovation and competitiveness without diverging from decarbonisation targets or the protection of rights.

Palabras clave

Inteligencia artificial, gobernanza, Estados Unidos, energía, regulación estatal, Reglamento de IA de la UE, redes eléctricas, almacenamiento, energía nuclear, centros de datos, consumo eléctrico, descarbonización.

Key words

Artificial intelligence; governance; United States; energy; state regulation; EU AI Act; electricity grids; storage; nuclear energy; data centres; electricity consumption; decarbonisation.

1. INTRODUCCIÓN

La inteligencia artificial (IA)¹ se ha convertido en una de las mayores revoluciones de la «revolución digital» (*i.e.*, la Tercera Revolución Indus-

-
1. En este artículo se entenderá por «Inteligencia Artificial» de conformidad con la definición utilizada por la Comisión Europea: Sistemas de software diseñados por humanos que actúan física o digitalmente (i) percibiendo su entorno a través de la adquisición e interpretación de datos y (ii) razonando sobre el conocimiento, procesando la información derivada de estos datos y tomando decisiones para lograr los objetivos propuestos.

trial) con capacidad de transformar la industria y la economía a niveles sin precedentes.

Tal y como anunció Antony J. Blinken, Secretario de Estado de Estados Unidos de América (EE. UU.)² de la Administración de Biden:

«La revolución tecnológica mundial está en marcha. Las principales potencias mundiales se apresuran a desarrollar y desplegar nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial y la computación cuántica, que podrían cambiarlo todo en nuestras vidas: desde dónde obtenemos la energía hasta cómo hacemos nuestro trabajo o cómo se libran las guerras. Queremos que Estados Unidos mantenga su ventaja científica y tecnológica, porque es fundamental para prosperar en la economía del siglo XXI»³.

En efecto, en la última década, la IA ha experimentado un crecimiento exponencial, transformando diversos sectores como la salud, la educación, la industria y los servicios. Este desarrollo exponencial de la IA no está exento de retos ni de controversia. Hoy en día, existe una creciente tendencia hacia el nerviosismo sobre el impacto que tiene y que puede llegar a tener a medio y largo plazo la IA en nuestras vidas. De acuerdo con un estudio llevado a cabo por Ipsos en 2023 (en adelante, el Estudio de IPSOS), el 52% de la población siente cierto nerviosismo frente a la IA, es decir, 12 puntos porcentuales más que en diciembre de 2021⁴. Entre las preocupaciones más recurrentes están la protección de los derechos humanos (*i.e.*, la IA puede fomentar los perjuicios y la discriminación a través de sistemas de aprendizaje parciales), la protección de datos personales y el fomento de la desinformación (*i.e.*, el uso de la IA para manipular la opinión pública a través de información falsa)⁵.

Por ello, este avance tecnológico ha traído consigo una serie de desafíos éticos, sociales y legales que lo han convertido en un tema legislativo can-

2. Blinken, A.J (2021, March 3). A foreign Policy for the American People [Transcripción]. U.S. Department of State. Disponible en: <https://2021-2025.state.gov/a-foreign-policy-for-the-american-people/>
3. Versión traducida del inglés: «A global technology revolution is now underway. The world's leading powers are racing to develop and deploy new technologies like artificial intelligence and quantum computing that could shape everything about our lives — from where we get energy, to how we do our jobs, to how wars are fought. We want America to maintain our scientific and technological edge, because it's critical to us thriving in the 21st century economy.».
4. Ipsos. Global Views on A.I. 2023 — How people across the works feel about artificial intelligence and expect it will impact their life (a 31-country Global Advisory survey). Julio de 2023. Disponible en: https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2023-07/Ipsos%20Global%20AI%202023%20Report-WEB_0.pdf
5. MARR, Bernard. «Estos son los 15 mayores riesgos de la IA.» Revista Forbes. 28 de julio de 2023. Disponible en: <https://forbes.es/tecnologia/316482/estos-son-los-15-mayores-riesgos-de-la-ia/>

dente a nivel mundial reflejando la necesidad de crear un marco normativo extensivo que haga frente a los retos de la implantación de la IA.

Estos esfuerzos normativos se llevan a cabo predominantemente a nivel nacional, sin perjuicio de iniciativas internacionales cuyo objetivo principal es la creación de unos principios rectores para la implementación de marcos normativos nacionales que cumplan con unos fundamentos y valores básicos como, por ejemplo, los Principios de la IA promovidos por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, adoptados por la Unión Europea, las Naciones Unidas y diferentes Estados (entre ellos, EE. UU.).

Las prioridades de cada Estado se reflejan en el desarrollo de su normativa en este ámbito. Mientras que el Reglamento europeo de la IA⁶ persigue minimizar los daños sociales derivados del uso de la IA⁷, la regulación china está enfocada en reafirmar el control del estado chino en este ámbito⁸. EE. UU., por su parte, persigue encontrar el equilibrio entre asegurar su posición como líder global del desarrollo de la IA, y por otro, resguardarse de sus posibles riesgos y daños. En definitiva, el motor principal del afán regulador de la IA podría considerarse «común» a nivel mundial en tanto que los esfuerzos normativos se centran en la necesidad de garantizar que el desarrollo y el uso de la IA sean seguros, éticos y beneficiosos para la sociedad.

EE. UU. surgió como el pionero mundial en el desarrollo de la IA, al haber desarrollado los modelos más conocidos, tales como ChatGPT y Sora (ambos de OpenAI), y Gemini 1.5, de Google, y contar con las mayores inversiones destinadas al ámbito. No obstante, se trata de otro ámbito más objeto de la carrera geopolítica por el liderazgo entre las grandes potencias mundiales. China, por su parte, destaca por el liderazgo en la robótica industrial y el volumen de patentes registradas⁹.

Como líder en la carrera de la IA, también EE. UU. es líder en el desarrollo normativo relacionado con la misma, ámbito en el que existe consenso entre

6. Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n° 300/2008, (UE) n° 167/2013, (UE) n° 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 y (UE) 2019/2144 y las Directivas 2014/90/UE, (UE) 2016/797 y (UE) 2020/1828 (Reglamento de Inteligencia Artificial).
7. Tales como la discriminación en la contratación mediante el uso de la IA.
8. «Medidas provisionales para la gestión de los servicios de IA generativa.» Entraron en vigor el 15 de agosto de 2023.
9. FARGE, Emma. «China leading generative AI patents race, UN report says.» Reuters, 3 de julio de 2024. Disponible en: <https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/china-leading-generative-ai-patents-race-un-report-says-2024-07-03/>

los votantes americanos, tanto demócratas como republicanos¹⁰. De acuerdo con el *Artificial Intelligence Index Report* de 2024 elaborado por el Centro de Inteligencia Artificial de la Universidad de Stanford¹¹, en el año 2023 existían 25 normativas relacionadas con la IA, frente a 1 en 2016.

Las principales iniciativas normativas de EE. UU. proponen un enfoque integral para la regulación de la IA, combinando la importancia de la innovación tecnológica con la protección de los derechos y seguridad de los ciudadanos. No obstante, a fecha de este artículo, no existe todavía un marco normativo específico que regule, restrinja y condicione el desarrollo de la IA en EE. UU., lo cual supone una falta de marco regulatorio, generando así uno de los principales desafíos en el desarrollo de la IA.

La carrera mundial por la IA (y, por tanto, una de las mayores ambiciones nacionales) se aplica a todos los ámbitos imaginables: la industria armamentística, el transporte, la medicina, y los servicios, entre muchos otros. En definitiva, la IA está revolucionando todos los sectores económicos, incluido el sector energético. La IA ofrece soluciones innovadoras para mejorar la eficiencia, reducir los costes y promover el uso de las energías renovables.

Concretamente, el uso de la inteligencia artificial en el sector energético de EE. UU. está transformando la manera en que se produce, distribuye y consume la energía, convirtiéndose en uno de los actores principales de la transición ecológica.

En este artículo vamos a analizar los siguientes aspectos: (i) el desarrollo normativo de la IA en EE. UU.; y (ii) el papel de la IA como acelerador y como potencial freno a la consecución de los objetivos de transición energética.

Este capítulo adopta un enfoque jurídico-regulatorio descriptivo, orientado al análisis del desarrollo normativo y políticas relacionadas con la IA, con un énfasis particular en su rol en el ámbito energético. La metodología empleada se basa en la revisión documental de fuentes normativas, informes institucionales, literatura académica especializada y estudios sectoriales

10. KULL, Steven. «Regulating Artificial Intelligence. A National Survey of Registered Voters.» University of Maryland, marzo 2024. Disponible en: https://vop.org/wp-content/uploads/2024/04/AI_Report_0324.pdf
11. PERRAULT, Ray y Jack Clark. «Artificial Intelligence Index Report 2024.» AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, April 2024. Disponible en: https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/05/HAI_AI-Index-Report-2024.pdf

relevantes. El análisis se estructura en torno a la interpretación normativa y la evaluación de instrumentos regulatorios aplicados a la IA y al sector energético, incorporando una comparación puntual entre los marcos regulatorios de EE. UU. y la Unión Europea, con el objetivo de identificar convergencias y divergencias en la formulación de un cuerpo de políticas y normas alrededor de la IA.

2. EL DESARROLLO NORMATIVO DE LA IA EN ESTADOS UNIDOS

EE. UU. es uno de los países con mayor desarrollo normativo en relación con la IA. Sin embargo, esto no quiere decir que la IA esté ni estricta ni restrictivamente regulada. Mientras que la Unión Europea ha optado por una estrategia enfocada en la legislación y regulación, EE. UU. ha centrado sus esfuerzos en el desarrollo de pautas de gobernanza¹².

El desarrollo normativo de la IA se da en las dos caras del perfil político estadounidense, existe un claro consenso entre demócratas y republicanos en relación con la importancia de regular la IA. De acuerdo con el Estudio de IPSOS, más del 70% de demócratas y republicanos considera necesario: (i) el desarrollo de normas para asegurar que los sistemas de IA sean seguros (ii) el establecimiento de mejores prácticas para detectar contenidos generados con IA (iii) crear una orientación clara para la vivienda y otros programas estatales para evitar que la IA se use con fines discriminatorios, y (iv) colaborar con otras jurisdicciones en apoyo a un desarrollo sostenible de la IA.

Pese a que, en principio, tanto demócratas como republicanos estaban de acuerdo en proteger el contenido creado por la IA, rápido han empezado a surgir las discrepancias. De hecho, actualmente se ha convertido en uno de los temas de debate entre las diferentes ramas ideológicas¹³.

En la carrera hacia la Casa Blanca de 2024, Donald Trump prometió dedicar más recursos a los proyectos de IA, al considerarla una parte fundamental del desarrollo humano, la libertad de expresión y el avance. En efecto, pretende derogar la actual Orden Ejecutiva sobre IA aprobada por

12. EY. «El entorno regulatorio global de la Inteligencia Artificial (IA).» Octubre 2023. Disponible en: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/es_es/topics/ey-insights/ey-el-entorno-regulatorio-global-inteligencia-artificial.pdf

13. MEDIAVILLA Martínez, Jorge. «Demócratas y republicanos, de acuerdo en proteger los contenidos de la IA.» CMS. 18 de julio de 2024. Disponible en: <https://www.mejorcms.com/periodismo/usa-protege-contenido-ia/>

el presidente Biden, pues dice ser una «peligrosa» política que solo sirve de obstáculo a la innovación en IA¹⁴.

Se convierte así la IA en un punto de fricción dentro de la campaña electoral. Por un lado, los demócratas defienden la importancia de mantener el desarrollo de la IA controlado. Para ello se creó el AISIC —*Artificial Intelligence Safety Institute Consortium*—, un grupo de empresas y entidades especializadas en IA que colaboran con el gobierno norteamericano buscando aprovechar todo el potencial de la IA mientras se cumplen con unos estándares comunes de seguridad.

Por otro lado, el partido de Trump considera que este tipo de medidas han hecho retroceder las inversiones y el desarrollo en IA. Creen que la actual normativa es suficiente y que desarrollarla más sería «un regalo para China» al dificultar la llegada de nuevos desarrolladores a EE. UU. Por ello, plantean revocar las políticas hasta ahora existentes en materia de IA y poner en marcha los llamados *Proyectos Manhattan*, con los que desarrollar tecnologías militares y reducir los estándares regulatorios innecesarios.

En cualquier caso, resulta claro que la IA se convertirá en un tema de primer nivel dada la implicación que tiene en el ámbito comercial, económico, militar y geopolítico. Ejemplo de ello es la importancia acordada por los votantes estadounidenses que consideran que el desarrollo seguro de la IA es más importante que la competitividad frente a China. De acuerdo con un estudio realizado por *AI Policy Institute* en junio de 2024 y presentado por la revista *Time*¹⁵, el 75% de los votantes demócratas y el 75% de los votantes republicanos considera que una aproximación cauta a la IA es preferible a un desarrollo descontrolado para conseguir ser el Estado con la mayor y más potente IA.

Este apoyo bipartidista a la regulación de la IA ha permitido un crecimiento considerable de las iniciativas normativas. Por ejemplo, los legisladores estatales presentaron 191 propuestas relacionadas con la IA en el 2024 (*i.e.*, un 440% más que en 2023), de las cuales únicamente 14 se aprobaron finalmente como leyes¹⁶.

14. BOOTH, Harry. «Republicans Vow to Repeal Biden's AI Executive Order Has Some Experts Worried.» *Time Magazine*. 11 de julio de 2024. Disponible en: <https://time.com/6996927/republicans-repeal-biden-ai-executive-order/>
15. PERRIGO, Billy. «Exclusive: US Voters Value Safe AI Development Over Racing Against China, Poll Shows.» *Time Magazine*. 8 de julio de 2024. Disponible en: <https://time.com/6996090/ai-china-american-voters-poll/>
16. BSA — The Software Alliance. «2023 State AI Legislation Summary.» 21 de septiembre de 2023. Disponible en: <https://www.bsa.org/files/policy-filings/09222023statelegai.pdf>

Así, si bien es cierto que existe un claro interés político en la regulación de la IA, este interés todavía no se ha terminado de materializar en la creación de un marco regulador completo, cohesionado (tanto a nivel federal como estatal) y eficaz. La normativa estadounidense en relación con la IA no ha cobrado una forma consistente a fecha de este artículo, sino que podría asemejarse a una especie de *patchwork* complejo de distintas normativas aprobadas (y en proceso de aprobación) por diferentes organismos y a distintos niveles durante los últimos años, y a un ritmo creciente durante los últimos doce meses. Tales normas cubren distintos ámbitos, desde diferentes sectores económicos, hasta los derechos de los usuarios y la seguridad nacional.

A continuación, se incluye una breve revisión de las iniciativas aprobadas en EE. UU. hasta la fecha.

2.1. FEDERAL

En la actualidad, no existe normativa a nivel federal que regule el desarrollo o restrinja el uso de la IA desde un punto de vista general. Por un lado, tanto Donald Trump como Joe Biden han aprobado órdenes ejecutivas durante sus mandatos, e igualmente abundan los instrumentos de *soft law* elaborados por el Gobierno americano, y por distintas agencias gubernamentales, que actúan como guías orientativas para posibles normas posteriores.

Por otra parte, el Congreso estadounidense también ha aprobado algunas normas relacionadas con la IA, pero en su mayoría, están enfocadas en la administración federal y el sector público. Por ejemplo, el *AI Training Act*¹⁷, está dirigido a desarrollar un programa anual de formación sobre la IA para empleados federales. Asimismo, algunas normas sectoriales tienen menciones específicas a la IA, como la Ley de Reautorización de la Administración Federal de Aviación¹⁸, que requiere la revisión de la IA en la aviación, y la Ley de Autorización de Defensa Nacional para el Año Fiscal 2019¹⁹, que obliga al nombramiento de un coordinador para supervisar las actividades de IA. Otras se centran específicamente en la IA, como la Ley de Iniciativa Nacional

17. S. 1564 — AI Leadership Training Act. Disponible en: [https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/1564#:~:text=Introduced%20in%20Senate%20\(05%2F11%-2F2023\)&text=This%20bill%20requires%20the%20Office,to%20participate%20in%20the%20program.&text=other%20specified%20topics](https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/1564#:~:text=Introduced%20in%20Senate%20(05%2F11%-2F2023)&text=This%20bill%20requires%20the%20Office,to%20participate%20in%20the%20program.&text=other%20specified%20topics)
18. H.R.3935 — FAA Reauthorization Act of 2024. Disponible en: <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/3935>
19. H.R. 5515 — National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2019. Disponible en: <https://www.congress.gov/115/bills/hr5515/BILLS-115hr5515enr.pdf>

de IA²⁰ de 2020, dirigida a la supervisión de la investigación y desarrollo de la IA. Finalmente, existen iniciativas en el Congreso que demuestran el interés de ambos partidos por regular el ámbito.

2.1.1. Las Órdenes Ejecutivas de Donald Trump y Joe Biden

El gobierno federal de EE. UU. ha aprobado tres órdenes ejecutivas²¹ relativas a la IA desde 2019. En concreto:

- Órdenes ejecutivas de Trump

La Administración de Trump aprobó dos órdenes ejecutivas relativas a la IA durante su mandato (2017-2021): (i) Orden Ejecutiva 13859 de 11 de febrero de 2019 sobre liderazgo en IA (la Primera Orden Ejecutiva de Trump); y (ii) Orden Ejecutiva 13960 de 3 de diciembre de 2020 para promover el uso de inteligencia artificial fiable en el gobierno federal (la Segunda Orden Ejecutiva de Trump)²².

La Primera Orden Ejecutiva de Trump establece la política de EE. UU. para mantener y mejorar su liderazgo en la IA, mediante la inclusión de cinco principios clave: (i) impulsar los avances tecnológicos; (ii) desarrollar estándares técnicos (*i.e.*, reducción de las barreras para el despliegue de IA de una forma segura); (iii) capacitar a los trabajadores actuales y futuros para el desarrollo y aplicación de la IA; (iv) fomentar la confianza pública, protegiendo la libertad, privacidad y valores estadounidenses en la aplicación de la IA; y (v) promover la investigación e innovación internacional, a la vez que se apuesta por la protección de las tecnologías de la IA frente a competidores.

La consecución de dichos objetivos será coordinada a través del Comité Selecto sobre Inteligencia Artificial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (NSTC)²³. Las agencias gubernamentales

20. H.R. 6216 — National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020. Disponible en: <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/6216>

21. Una orden ejecutiva es una directiva firmada, escrita y publicada por el Presidente de los EE. UU. que gestiona las operaciones del gobierno federal (definición del *American Bar Association*, disponible en: https://www.americanbar.org/groups/public_education/publications/teaching-legal-docs/what-is-an-executive-order/).

22. *Executive Order on Promoting the Use of Trustworthy Artificial Intelligence in the Federal Government*. 3 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://www.federalregister.gov/documents/2020/12/08/2020-27065/promoting-the-use-of-trustworthy-artificial-intelligence-in-the-federal-government>

23. Se creó en junio de 2018 y es el órgano encargado de aconsejar a la Casa Blanca en temas relativos a la AI.

implementadoras serán responsables de la investigación y desarrollo, despliegue de aplicaciones, y regulación de tecnologías de IA.

En definitiva, el documento subraya la importancia de mantener el liderazgo de EE. UU. en IA a través de una estrategia coordinada del gobierno federal, promoviendo la innovación, la seguridad y la colaboración internacional.

La Segunda Orden Ejecutiva de Trump establece nueve principios cuyo objetivo principal es, en palabras del propio Director de Tecnología de la Administración de Trump²⁴:

«fomentar la confianza pública en la tecnología, impulsará la modernización del gobierno y demostrará aún más el liderazgo de Estados Unidos en inteligencia artificial»²⁵.

Esta Segunda Orden Ejecutiva de Trump trata los siguientes objetivos relativos al desarrollo y uso de la IA: (i) innovación y uso de la IA en el día a día del gobierno estadounidense; (ii) confianza pública, mediante la protección de la privacidad y de los derechos civiles; y (iii) estrategia común en el uso de la IA para todas las agencias gubernamentales.

Para la consecución de dichos objetivos, la Segunda Orden Ejecutiva lista una serie de principios para el uso de la IA por el gobierno:

- Legal y respetuoso con los valores y el ordenamiento jurídico.
- Propósito y desempeño, de tal manera que su uso conlleve beneficios y los potenciales riesgos puedan gestionarse adecuadamente.
- Preciso y eficaz.
- Seguro y resiliente frente a posibles manipulaciones.
- Comprensible para los expertos, pero también para los usuarios.
- Responsable y rastreable, mediante la definición de los roles dentro de cada una de las agencias.

24. Shepardson, David. «Trump signs order on principles for U.S. government AI use». 4 de diciembre de 2020. Disponible en: <https://www.reuters.com/article/technology/trump-signs-order-on-principles-for-us-government-ai-use-idUSKBN28E06L/>

25. Traducido del inglés original: *«will foster public trust in the technology, drive government modernization and further demonstrate America's leadership in artificial intelligence.»*.

- Monitoreo periódico, de tal manera que se puedan desactivar las aplicaciones de IA que no cumplan con los principios establecidos.
- Transparente, a través de la divulgación a los interesados de información relevante sobre el uso de la IA.
- Las agencias deben ser responsables de implementar y hacer cumplir las salvaguardias adecuadas para el uso de la IA.

La Oficina de Administración y Presupuesto (*Office of Management and Budget*) es el órgano responsable de establecer una hoja de ruta para la implementación de los principios arriba listados.

El documento subraya la importancia de utilizar la IA de manera transparente y responsable en el gobierno federal, promoviendo la innovación y la eficiencia mientras se protege la privacidad y los derechos civiles de los ciudadanos.

- Orden ejecutiva de Biden

La Administración de Joe Biden aprobó la Orden Ejecutiva 14110 de 30 de octubre de 2023 para una IA segura y fiable (la Orden Ejecutiva de Biden).²⁶

La Orden Ejecutiva de Biden tiene como objetivo principal gestionar y reducir los riesgos que supone la IA, a la vez que fomenta la innovación y la competitividad, impulsando el liderazgo americano en el mundo²⁷. Resumidamente, esta Orden Ejecutiva incluye:

- Nuevos estándares de seguridad y protección, mediante la introducción de obligaciones de información sobre los resultados de las pruebas de seguridad por parte de los desarrolladores de los sistemas de IA más potentes al Gobierno de EE. UU. y de medidas relacionadas con (y entre otros) la identificación de contenido generado con IA y/o la protección de su uso en el ámbito de la ingeniería biológica.

26. *Executive Order on the Safe, Secure, and Trustworthy Development and Use of Artificial Intelligence*. 30 de octubre de 2023. Disponible en: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2023/10/30/executive-order-on-the-safe-secure-and-trustworthy-development-and-use-of-artificial-intelligence/>

27. The White House. «FACT SHEET: President Biden Issues Executive Order on Safe, Secure, and Trustworthy Artificial Intelligence.» Disponible en: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/10/30/fact-sheet-president-biden-issues-executive-order-on-safe-secure-and-trustworthy-artificial-intelligence/>

- Iniciativas para la protección de los ciudadanos americanos, principalmente centradas en la creación de técnicas/directrices para promover la protección de datos junto con la financiación de una Red de Coordinación de Investigación para el desarrollo de tecnologías que permitan la preservación de la privacidad.
- Fomento de los derechos civiles y la equidad, abordando la discriminación algorítmica y garantizando la equidad en el sistema judicial penal.
- Protección de los consumidores, pacientes y estudiantes, fomentando el avance en el uso responsable de la IA en la atención médica y desarrollo de medicamentos, por un lado, y por otro desarrollando la IA para transformar la educación a través de la creación de herramientas educativas de apoyo para los educadores.
- Apoyo a los trabajadores, desarrollando principios y mejores prácticas que mitiguen los daños y potencien los beneficios de la IA en el trabajo (haciendo frente, por ejemplo, a la problemática del desplazamiento laboral) y elaborando un informe sobre los potenciales impactos que puede tener la IA en el mercado laboral.
- Fomento de la innovación y la competitividad, impulsando la investigación de la IA y promoviendo un ecosistema de IA justo, abierto y competitivo. Estas iniciativas incluyen la revisión de los criterios de visado para trabajadores inmigrantes altamente calificados.
- Fomento del liderazgo americano en el extranjero, realizando un esfuerzo para ampliar los compromisos internacionales para regular la IA (*i.e.*, potenciando sus beneficios y mitigando sus riesgos).
- Iniciativas para garantizar un uso responsable y eficaz de la IA por el Gobierno, emitiendo directrices para el uso y adquisición de la IA por las agencias y acelerando la contratación de profesionales de IA a nivel gubernamental.

El foco del desarrollo normativo relativo a la IA en EE. UU. se centra, principalmente, en estas tres órdenes ejecutivas. No obstante, son el claro ejemplo de la falta de iniciativa federal para la regulación de la IA, ya que

no tienen la capacidad de regular el ámbito privado ni de crear nuevas agencias gubernamentales. Son instrumentos legales cuyo objetivo es guiar la actuación de las agencias gubernamentales de tal manera que todas aquellas medidas, recomendaciones e iniciativas que recogen deben ser posteriormente desarrolladas por las agencias gubernamentales correspondientes.

Lo anterior es ejemplo de las grandes diferencias que existen con la regulación de la IA en la Unión Europea a través del Reglamento (UE) 2024/1689 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial y por el que se modifican los Reglamentos (CE) 300/2008, (UE) 167/2013, (UE) 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139, (UE) 2019/2144 y las Directivas 2014/90/UE, (UE) 2016/797 y (UE) 2020/1828 (en adelante, el Reglamento de la UE de IA).

A diferencia de las órdenes ejecutivas, y a modo enunciativo, el Reglamento de la UE de IA sí que regula el uso de la IA en el sector privado y considera el impacto que puede tener la IA en el medioambiente²⁸. Así, resulta ser un claro ejemplo de las diferencias que todavía existen entre Estados en la definición de las cuestiones consideradas como prioritarias en la regulación de la IA.

2.1.2. Otras iniciativas del gobierno y agencias federales

En octubre de 2022, el gobierno estadounidense presentó el Plan para una Carta de Derechos de la IA²⁹, que incluye una serie de principios y prácticas para guiar el diseño, uso y despliegue de sistemas de IA, para proteger los derechos de los ciudadanos americanos. Los principios son: (i) sistemas seguros y efectivos (ii) protección de discriminación algorítmica (iii) protección de datos (iv) avisos y explicaciones, y (v) alternativas humanas, consideración y planes de último recurso. Biden desarrolló dichos principios en su orden ejecutiva. Diversas agencias federales han adoptado los principios del Plan para una Carta de Derechos de la IA; el número de agencias aprobando regulaciones de IA ha incrementado de 17 en el 2022 a 21 en 2023.³⁰ El Departamento de Energía (DOE) del gobierno estadounidense, por su parte, ha publicado unas directrices de uso de la IA, dirigido a sus

28. ODELBURG, Trevor. «Understanding the Future of Artificial Intelligence Governance: comparing the EU AI Act and U.S. Executive Order on Safe AI». Universidad de Michigan. Disponible en: stpp-future-of-ai-governance.pdf (umich.edu)

29. *Blueprint for an AI Bill of Rights*. Disponible en: <https://www.whitehouse.gov/ostp/ai-bill-of-rights/>

30. PERRAULT, Ray y Jack Clark. «Artificial Intelligence Index Report 2024.» Chapter 7. AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University,

empleados. Por otra parte, el Instituto nacional para la ciencia y tecnología publicó el Marco de Gestión de Riesgos de la IA, que establece directrices para mitigar los riesgos de un sistema de IA.

2.1.3. Iniciativas del Congreso

En el Congreso, existen diversas iniciativas y propuestas de normas federales de IA, también enfocadas en distintos ámbitos y algunas incluso fruto de la colaboración bipartita, tales como el *SAFE Innovation AI Framework Act*, el *REAL Political Advertisements Act*, el *Stop Spying Bosses Act*, y el *Draft No FAKES Act*. No obstante, a fecha de este artículo, no existe una norma federal con un peso importante en la regulación de la IA. En consecuencia, no pocos Estados se han ocupado de suplir esa ausencia con su propia normativa, como veremos a continuación.

2.2. ESTATAL

En la sesión legislativa de 2023, al menos veinticinco estados, Puerto Rico, y el Distrito de Columbia introdujeron normas de IA, si bien finalmente fueron dieciocho estados los que promulgaron o adoptaron dicha normativa³¹. En el 2024, treinta y un estados aprobaron normas, de cuarenta y cinco que introdujeron la normativa. Las normas estatales se podrían clasificar en tres categorías diferentes³²: (1) de transparencia, destinadas al desarrollo de la IA y las consecuencias de su uso; por ejemplo, la obligación de comunicar al público cuándo estén interactuando con modelos de IA, o el uso de la IA en campañas presidenciales; (2) sectoriales, dirigidas a limitar los riesgos del uso de la IA en la toma de decisiones, relacionadas con el empleo, la vivienda, seguros y salud, entre otros aspectos; y (3) globales de IA, enfocadas en la evaluación de su impacto o la posibilidad de exclusión voluntaria de los consumidores de su uso.

California destaca como el estado líder en el desarrollo de la IA y, paralelamente, en la elaboración de normas en este ámbito. Se han introducido

Stanford, CA, April 2024. Disponible en: https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/05/HAI_AI-Index-Report-2024.pdf

31. NCSL. «Artificial Intelligence 2023 Legislation.» 12 de enero de 2024. Disponible en: <https://www.ncsl.org/technology-and-communication/artificial-intelligence-2023-legislation>

32. GROSS, Grant. «The complex patchwork of US AI regulation has already arrived.» CIO. 5 de abril de 2024. Disponible en: [The complex patchwork of US AI regulation has already arrived | CIO](#).

y están pendientes de aprobación numerosas normas, tanto a nivel interno como externo. Por un lado, múltiples normas están dirigidas a departamentos y agencias del estado de California, principalmente al Departamento de Tecnología, para la integración de principios rectores³³ a nivel general y el establecimiento de estándares de seguridad y no discriminación para las herramientas de IA utilizadas por el estado, así como la protección del ciudadano. Por otra parte, también se han introducido normas en ámbitos tales como el empleo, la salud mental y los seguros de salud, entre otros ámbitos. Asimismo, está pendiente de aprobación una norma donde incluso se regula el uso de la IA en la legislación.

Asimismo, Illinois también ha introducido múltiples normas relacionadas con el uso de la IA en el diagnóstico médico, las apuestas y el empleo. Por su parte, Massachusetts también ha introducido normativa en el ámbito laboral, servicios educativos y de salud mental, así como la utilización de tales herramientas por agencias de la administración de Massachusetts. Igualmente, el volumen de normativa introducida en Nueva York alberga ámbitos muy diversos, incluyendo el ámbito electoral, la protección de datos, el empleo, la contratación de seguros de vehículos, el alquiler de viviendas y la publicidad, entre otros. A su vez, Pennsylvania ha aprobado una norma donde se incluiría la generación artificial de imágenes de menores como un ilícito penal, y también regula el uso de la IA en servicios de comunicación de emergencia, entre otras cuestiones. Resulta también destacable, por su parte, el estado de Dakota del Norte, que ha aprobado una norma donde excluye expresamente a la IA de la definición jurídica de «persona».

La regulación estatal estaría centrada en limitar los efectos negativos derivados del uso de la IA, así como en establecer unos principios rectores para su uso en diversos campos. No obstante, los ámbitos industriales no estarían incluidos en esta primera «ola» de regulación de la IA, quizás porque, a primera vista, su uso no tendría efectos negativos o discriminatorios para el consumidor e individuo.

A la vista de lo anterior, es evidente la voluntad regulatoria de los distintos poderes reguladores tanto a nivel federal como estatal. Sin embargo, dichos esfuerzos están en un estadio muy inicial que no avanza al mismo ritmo que el desarrollo de la IA (*i.e.*, los sistemas de IA avanzan más rápido de lo que puede hacer frente el proceso legislativo), materializándose principalmente en el establecimiento de principios rectores comunes para el uso de la IA por las agencias gubernamentales.

33. Tales como los 23 principios de Asilomar.

No obstante, a nivel sectorial se están poniendo en marcha iniciativas para abordar el uso de la IA frente a problemáticas concretas. Un claro ejemplo de ello es el papel de la IA en la transición ecológica y energética.

3. LA IA, ¿ACELERADOR O FRENO EN LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA?

La IA se ha erigido como uno de los grandes cambios en el paradigma tecnológico del siglo XXI, impactando en todos los sectores sociales y económicos. Entre ellos, cabe destacar el papel que juega en el sector energético y el que podría llegar a tener dentro del proceso de transformación del actual modelo productivo y social hacia otro más ecológico en la llamada transición energética.

En este sentido, la IA está transformando la forma en la que producimos, distribuimos y consumimos energía. Es por ello, que en un proceso de transición ecológica como en el que vivimos, esta herramienta puede y debe convertirse en una aliada para lograr los objetivos de sostenibilidad propuestos.

3.1. LA IA COMO ACELERADOR DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La IA tiene un efecto significativo en el desarrollo energético de calidad, tal y como ha comprobado un grupo de expertos de la Universidad Internacional de Beijing y la Universidad de Wollongong en Australia. Por cada punto porcentual que aumenta la IA, la innovación energética lo hace directamente en un 0,173%. Sin embargo, éste no es el único efecto que puede tener la IA en el sector, ya que de manera indirecta también promueve el desarrollo energético a través del aumento de la capacidad de innovación en energía verde y el fomento de proyectos en I+D³⁴.

Así, en búsqueda de la transformación del modelo energético y tecnológico, la IA actúa en diferentes etapas de la cadena de valor energética, tales como: (i) la generación; (ii) las instalaciones industriales; (iii) los mercados eléctricos; o (iv) el consumo.

- A nivel generación, la IA optimiza la producción de energía renovable. A través de los diferentes algoritmos desarrollados se pueden

34. WANG, Bo. «How does artificial intelligence affect high-quality energy development? Achieving a clean energy transition society.» *Energy Policy*, Volumen 186, Marzo 2024, 114010. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114010>

analizar grandes conjuntos de datos de fuentes de energía renovable, predecir su producción y mejorar el rendimiento del sistema.

- En cuanto a las instalaciones industriales, la IA es capaz de identificar áreas de mejora de eficiencia energética y desarrollar estrategias de producción industrial más efectivas, lo cual supone una reducción de costes y un aumento de beneficios.
- Respecto al mercado eléctrico, la IA ha permitido la llegada de cada vez más agentes, proporcionando una mayor flexibilidad al sistema y una mayor sostenibilidad del mismo.
- En cuanto al consumo, los programas de IA están consiguiendo importantes avances en la mejora de eficiencia energética en edificios, industrias y hogares, ya que permite optimizar el consumo de energía a través de sistemas de climatización o iluminación.

En definitiva, la IA proporciona una gran oportunidad de transformación energética dado su potencial en los sectores de la energía nuclear, renovable y del carbón. Este efecto promotor en el ámbito energético necesita del apoyo de los diferentes gobiernos, que deberán desarrollar normativas claras y actualizadas que permitan estandarizar las cuestiones básicas referentes a la IA. No solo ello, sino que los gobiernos tendrán que cooperar con la industria tecnológica y los expertos en la materia en aras de compartir conocimiento y recursos para acelerar el desarrollo y la aplicación de estos programas. Así, los países podrán avanzar hacia sus objetivos de descarbonización de la economía y transición hacia un modelo más verde.

En este escenario EE. UU. se ha convertido en líder en volumen de inversiones destinadas a la IA. Hasta 67,2 mil millones de dólares se invirtieron en el país norteamericano en 2023 según el AI Index³⁵, una cifra ocho veces superior a lo invertido en China, el segundo mayor inversor. También lidera el desarrollo de nuevos modelos de IA, habiendo desarrollado 61 nuevos en 2023, frente a los 21 europeos y los 15 chinos³⁶.

35. PERRAULT, Ray y Jack Clark. «Artificial Intelligence Index Report 2024.» AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, April 2024. Disponible en: https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/05/HAI_AI-Index-Report-2024.pdf

36. Maldita. «La carrera geopolítica de la inteligencia artificial: Estados Unidos y China en cabeza, mientras la UE se posiciona como regulador.» 16 de julio de 2024. Disponible en: <https://maldita.es/malditatecnologia/20240716/carrera-geopolitica-inteligencia-artificial/#:~:text=Por%20la%20otra%2C%20Estados%20Unidos,8%20mil%20millones%20de%20d%C3%B3lares>

Silicon Valley se posiciona como el centro de innovación a nivel mundial gracias a los llamados gigantes tecnológicos —Google, Microsoft o IBM—, que dedican grandes presupuestos al I+D y cofinancian programas públicos de innovación. Asimismo, a nivel gubernamental, el Ejecutivo de Biden también puso el foco en la relevancia estratégica de la IA y financió varios planes de investigación a través de agencias federales. Solo en 2022, el gasto público en este sector fue de 3.300 millones de dólares³⁷.

Tanto el sector público como privado destina, de todas estas inversiones en IA, un porcentaje importante de ellas a la cuestión energética. No solo ello, sino que están comenzando a colaborar empresas energéticas con grandes tecnológicas en aras de aunar esfuerzos y conseguir una IA lo más eficiente posible y una energía lo menos contaminante posible. Así lo ha hecho por ejemplo Microsoft en el ámbito de las renovables o Avangrid, la filial estadounidense de Iberdrola con diferentes proyectos de servicios inteligentes.

El objetivo es emplear precisamente los programas de IA —que tanta energía consumen— para combatir la crisis climática y lograr una reducción de las emisiones de carbono. Es lo que pretende el DOE, no comprometer el desarrollo tecnológico de la IA, sino asegurar nuevas fuentes de energía y avanzar hacia un modelo de inteligencia artificial responsable y beneficioso para el sector energético tanto en el ámbito nacional como global.

En aras de abordar este desafío, el DOE ha publicado una hoja de ruta para el programa *Fronteras de la Inteligencia Artificial para la Ciencia, la Seguridad y la Tecnología (FASST)* bajo la coordinación de un grupo de 17 laboratorios estadounidenses. Este programa pretende mantener la competitividad del sector sin descuidar los objetivos medioambientales, de ahí que haya establecido como sus principales metas:

- Optimizar los algoritmos utilizados por la IA.
- Reutilizar los programas ya desarrollados a través de la técnica de transferencia de aprendizaje para reducir el consumo de energía asociado.
- Usar las propias energías renovables para alimentar los centros de datos y sistemas de computación necesarios.

37. MONTES, Lidia. «La UE se queda rezagada en inteligencia artificial respecto a EEUU y China, según el Tribunal de Cuentas.» *elEconomista.es*. Disponible en: <https://www.eleconomista.es/tecnologia/noticias/12839185/05/24/la-ue-se-queda-rezagada-en-inteligencia-artificial-respecto-a-eeuu-y-china-segun-el-tribunal-de-cuentas.html>

- Invertir en *Green AI*, en búsqueda de nuevas técnicas y metodologías que permitan ejecutar tareas de IA con un menor consumo de energía.

En definitiva, el escenario actual de creciente consumo energético ha puesto a los países en alerta, siendo conscientes del reto que supone lograr el desarrollo de la IA en su máximo potencial con el menor impacto medioambiental posible.

3.2. INICIATIVA *AI FOR ENERGY*

EE. UU. y el DOE se encuentran a la cabeza en el desarrollo de programas dirigidos a un crecimiento responsable en la aplicación de la IA. Así, se busca equilibrar el uso de la energía y las emisiones de la IA con su beneficio social.

Entre sus principales propuestas destaca la publicación del Informe *AI For Energy* en diciembre de 2023 por parte de un grupo de expertos reunidos en la Convención del Laboratorio Nacional Argonne (en adelante, la Convención). Su máxima es ofrecer un marco de trabajo al DOE para poder emplear la IA como acelerador en la transición energética del país y no como un obstáculo hacia la misma. Todo ello sin olvidar el principal objetivo del DOE, asegurar la independencia energética del país tanto a corto como a largo plazo.

Pese a la dificultad de los retos presentados, los expertos de la Convención son optimistas y consideran viable avanzar en el uso de la IA de manera sostenible. En concreto, ponen el énfasis en cómo maximizar el uso de los programas de IA en el ámbito energético, centrándose en las siguientes áreas: (i) energía nuclear; (ii) red eléctrica; (iii) gestión del carbono; (iv) almacenamiento energético; y (v) materiales energéticos.

Además, optan por trabajar en todas estas áreas de manera conjunta, de tal forma que se puedan integrar los esfuerzos empleados en la IA, la ciencia y la tecnología para optimizar los resultados conseguidos.

3.2.1. Energía nuclear

En los últimos años ha resurgido el debate acerca de la energía nuclear. Esta fuente de energía ha sido duramente criticada por los residuos que genera y la falta de seguridad que puede conllevar. Sin embargo, el encarecimiento de los combustibles fósiles, la elevada demanda y el problema acelerado del cambio climático han hecho que sean cada vez más los defen-

sores de esta energía. Entre sus beneficios, es una fuente energética capaz de garantizar el suministro requerido, reducir los costes energéticos y cumplir con los objetivos medioambientales al no emitir carbono.

En EE. UU. esta fuente de energía ha sido siempre de gran importancia, y actualmente genera el 48% de la electricidad libre de carbono del país. Se convierte así en la mayor fuente de energía limpia a nivel estatal³⁸.

Resulta claro, por tanto, que la energía nuclear deberá ser uno de los pilares de la transición energética, apoyada por los programas de la IA. Para ello la denominada «IA nuclear» aplica técnicas y algoritmos con el objetivo de optimizar, mejorar y hacer más segura la tecnología nuclear en sus diferentes áreas, tales como el análisis de materiales nucleares, la gestión de residuos o el funcionamiento de los reactores. Así, la IA nuclear pretende revolucionar el sector centrándose en cuestiones de eficiencia, sostenibilidad y seguridad.

En concreto, los sistemas predictivos desarrollados por la IA en materia nuclear:

- Avanzan en la supervisión de equipos, la detección de anomalías y la rápida reacción ante las mismas, lo cual reduce la probabilidad de accidentes y de paradas no programadas, mejorando la seguridad en las instalaciones nucleares.
- Optimizan las operaciones de los reactores y el consumo de combustible, de manera que mejora la eficiencia de las plantas nucleares incrementando su producción y reduciendo sus residuos.
- Desarrollan métodos de eliminación más seguros para la gestión de los residuos.
- Automatizan análisis de datos e información de tal forma que se pueda garantizar el cumplimiento normativo en materia de seguridad y medio ambiente.
- Avanzan en la investigación sobre la fusión nuclear controlada a través de la identificación de patrones y la obtención de nuevas perspectivas de trabajo³⁹.

38. Office of Nuclear Energy. «5 Fast Facts on Nuclear Energy» 11 junio 2024. Disponible en: <https://www.energy.gov/ne/articles/5-fast-facts-about-nuclear-energy>

39. BANAFIA, A. «Nuclear AI: Pioneering the Future of Nuclear Technology.» 27 noviembre 2023. BBVA OpenMind. Disponible en: <https://www.bbva.com/es/#:~:text=->

Desde esta perspectiva, el empleo de la IA puede dar respuesta a los grandes retos de la energía nuclear en los próximos años generando una gran capacidad nacional transformadora. El objetivo es poner las herramientas básicas de la IA en manos de los desarrolladores de reactores avanzados para mejorar el rendimiento de los sistemas nucleares y en manos de los reguladores para la mejora de la seguridad en el sector.

Los expertos prevén que en un plazo de 10 años podrían ya estar los métodos de la IA al alcance de los desarrolladores de reactores nucleares. Mientras tanto, recomiendan experimentar con las tecnologías de la IA en la flota de reactores existente o en las instalaciones del DOE.

Por otra parte, el Plan Estratégico de IA (*AI Strategic Plan*)⁴⁰ de la Comisión Regulatoria Nuclear (NRC por sus siglas en inglés, *Nuclear Regulatory Commission*), que cubre los años de 2023 a 2027, establece la visión y objetivos para un uso seguro de la IA en actividades reguladas por la NRC. Sus cinco objetivos estratégicos son los siguientes: (1) garantizar la preparación de la NRC para la toma de decisiones reglamentarias (2) establecer un marco organizativo para revisar las solicitudes de IA (3) reforzar y ampliar las asociaciones de IA (4) promover una mano de obra competente en IA, y (5) buscar casos de uso para crear una base de IA en la NRC. A su vez, el *AI Project Plan, Revision 0* pretende asegurar la preparación del personal de la NRC para evaluar efectiva y eficientemente el uso de la IA en actividades reguladas por la IA, en desarrollo de los cinco objetivos del Plan. Igualmente, la NRC está activamente involucrada en el liderazgo internacional en este ámbito — en septiembre de 2024, la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear (CNSC), la Oficina de Reglamentación Nuclear (ONR) del Reino Unido y la NRC publicaron conjuntamente un documento sobre principios de IA titulado *Consideraciones para el desarrollo de sistemas de inteligencia artificial en aplicaciones nucleares*, que esboza los principios rectores que deben tenerse en cuenta al utilizar la IA para garantizar el funcionamiento seguro y protegido de las instalaciones nucleares y otros materiales nucleares.

3.2.2. Red eléctrica

Alcanzar los objetivos de neutralidad de carbono para 2025 requiere una transición masiva hacia la electrificación, sustituyendo las fuentes de

Nuclear%20AI%20can%20assist%20in,design%20more%20effective%20fusion%20reactors

40. U.S. Nuclear Regulatory Commission. *Artificial Intelligence Strategic Plan. Fiscal Years 2023 — 2027*. NUREG — 2261. Disponible en: <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2261/index.html>

energía fósiles por la electricidad generada a partir de fuentes renovables. Con ello se pretende descarbonizar la economía; transportar la energía de manera más eficiente; y garantizar una mejor calidad de los indicadores medioambientales.

En este contexto hay que modificar los patrones de gestión de red hasta ahora conocidos en el ámbito de la generación y la demanda. Son cambios que generan una gran incertidumbre, pero es posible hacerles frente precisamente con la ayuda de programas de procesamiento de datos de la IA, que mejoran la gestión de situaciones complejas de estabilidad de la red.

Dentro de esta tendencia EE. UU., lejos de quedarse al margen, decidió en el año 2023 conceder 3.000 millones de dólares en subvenciones para fomentar proyectos de «red inteligente» entre los que se incluyen varias iniciativas de IA.

Fundamentalmente, tal y como explica Feng Qiu —científico del Laboratorio Nacional Argonne (Illinois)— la IA puede apoyar a la red de tres formas⁴¹:

- Ayudar a los operadores a entender las condiciones actuales.
- Tomar mejores y más rápidas decisiones. El tiempo necesario para calcular la electricidad requerida al día siguiente se ha visto ya reducido de 10 minutos a 60 segundos con la aplicación de la IA. Supone, por tanto, una importante reducción de tiempo y costes en el empleo de este tipo de programas.
- Predecir y anticipar posibles problemas en la red.

Además de estos cambios a nivel oferta en la red, hemos de tener en cuenta que también los consumidores deben modificar sus patrones para poder avanzar hacia la transición energética. En este sentido el empleo de la IA puede ayudar a optimizar el consumo de energía por parte de los usuarios.

En EE. UU. ya trabajan varias empresas con este objetivo. Recopilan datos de miles de hogares para crear predicciones personalizadas sobre las necesidades energéticas de cada consumidor. Con ello, no solo el cliente

41. THOMPSON, Liz. «Revolutionizing energy grid maintenance: How artificial intelligence is transforming the future». *Argonne National Laboratory*. Disponible en: <https://www.anl.gov/article/revolutionizing-energy-grid-maintenance-how-artificial-intelligence-is-transforming-the-future>

reduce su consumo y su gasto, sino que también las empresas energéticas resultan beneficiadas al poder calcular de manera más precisa su planificación energética y dar respuestas más ajustadas de la red.

Finalmente, deben adaptarse las redes eléctricas para hacer frente de manera eficiente al incremento de la producción y del consumo de energías renovables. En este campo se ha llevado a cabo una colaboración público-privada para el desarrollo de redes eléctricas adaptadas al paradigma energético actual, creada entre la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (por sus siglas en inglés, NASA), junto con la *startup* ADC Energy USA, Inc., para la creación de una nueva forma de transmisión de la energía que elimina las pérdidas de megavatios que actualmente se producen en la conversión de la corriente alterna a continua (AC/DC).

El sistema actual de transmisión de la energía eléctrica se configura en corriente alterna (AC). Históricamente, la predominancia de la corriente alterna frente a la corriente continua (DC) tiene su origen en la denominada guerra de las corrientes que tuvo lugar a finales del siglo XIX entre la Compañía Edison (ahora, General Electric) (creada por Thomas Alva Edison) que defendía un sistema de corriente continua y Westinghouse Electric (apoyada Nikola Tesla) que defendía un sistema de corriente alterna. Finalmente, se impuso la corriente alterna puesto que permitía la transmisión en grandes distancias gracias a su conversión de alta tensión (para el transporte) a baja tensión (para el uso doméstico) mediante el uso de transformadores a la vez que se reducían las pérdidas de calor que se ocasionaban en la transmisión en alta tensión.

Los progresos tecnológicos del siglo XX han supuesto un desafío para el sistema en corriente alterna, puesto que han incrementado considerablemente el consumo de energía en corriente continua. En este nuevo paradigma energético en el que la corriente continua se ha convertido en la clara protagonista, destaca el papel del desarrollo de las energías renovables como pilar principal de la transición ecológica⁴².

Así, la NASA y ADC Energy USA, Inc. han creado una nueva forma de transmisión de la energía que se configura como un híbrido que permite la transmisión en ambos tipos de corriente a través de las mismas infraestructuras (por sus siglas en inglés, **ADC** —*alternating direct current*—). Esta nueva tecnología de transmisión está habilitada por la inteligencia artificial.

42. PRASAD, Narasimha. «Alternating Direct Current (ADC) — A New Form of Efficient Energy Transmission.» Disponible en: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230014561/downloads/ADC%20Energy%20Charts-Final.pdf>

Entre otros beneficios, se espera que la tecnología ADC permita adaptar los sistemas de transmisión de energía al desarrollo de energía renovable, eliminando las pérdidas de energía que se dan con el actual sistema AC/DC. En particular, en el sistema actual de transmisión de energía en corriente alterna, la producción de energías renovables se enfrenta a problemas de eficiencia puesto que se producen en corriente continua que debe convertirse (con todas las desventajas que supone en términos de pérdidas de energía e infraestructura) en corriente alterna para su transmisión. Frente a estos problemas, la tecnología ADC proporciona una solución que permite el uso de la infraestructura existente para la introducción de manera eficiente y rentable de las energías renovables^{43 44}. Así, con la introducción de la tecnología ADC toda la energía puede ser transmitida por las mismas infraestructuras (independientemente del tipo de corriente).

3.2.3. Gestión del carbono

La descarbonización de la economía se ha convertido en uno de los principales objetivos de EE. UU. para las próximas décadas. De hecho, el Gobierno de Biden publicó en abril de 2024 la primera estrategia federal integral *Decarbonizing the U.S. Economy by 2050*, un plan para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) hasta en un 90%⁴⁵.

Lograr este objetivo no es posible sin desarrollar una correcta estrategia de gestión del carbono, basada en la reducción de los GEI, la reutilización de la infraestructura necesaria y las innovaciones que garanticen la seguridad del sector. Se calcula que, para llegar a las metas marcadas, la infraestructura estadounidense de captura y almacenamiento de carbono requerirá de 65 millones de toneladas de CO₂ al año, lo que supondrá un gran esfuerzo económico e industrial.

A su vez, las soluciones en gestión de carbono son necesarias para compensar la creciente demanda de fuentes de energía limpias, entre las que

43. LEIMBACH, Sydney. «NASA, ADC USA Validate New Form of Renewable-Friendly Energy Transmission.» 28 de septiembre de 2023. Disponible en: <https://www.environmentenergyleader.com/stories/nasa-adc-usa-validate-new-form-of-renewable-friendly-energy-transmission,4714>

44. PRASAD, Narasimha (ibid).

45. Departamento de energía. «El Departamento de Energía de EE. UU. Publica el Primer Plan Federal Para Descarbonizar el Sector de la Construcción en Estados Unidos.» 2 de abril de 2024. Disponible en: <https://www.energy.gov/articles/el-departamento-de-energia-de-ee-uu-publica-el-primer-plan-federal-para-descarbonizar-el#:~:text=econom%C3%ADa%20de%20EE.,UU.,en%20un%2090%25%20para%202050>

se incluyen las clásicas fuentes renovables y los recursos alternativos como los minerales críticos no convencionales, la energía geotérmica, la nuclear o el hidrógeno.

En este contexto, la IA y el aprendizaje automático pueden acelerar el desarrollo y optimización de las infraestructuras requeridas en la gestión del carbono gracias a su capacidad de análisis y evaluación.

3.2.4. Almacenamiento energético

Cada vez se necesitan más centros de almacenamiento conectados a la red. La importancia de estos radica en que, independientemente del tipo de energía que haya sido producida, se requiere de un almacenamiento eficaz y seguro.

El reto para los próximos años en materia de almacenamiento es reducir de manera drástica el ciclo de desarrollo de las tecnologías utilizadas para ello, desde su concepción hasta su despliegue, ya que los procesos actuales llevan demasiado tiempo.

En este sentido, los sistemas inteligentes ayudarán a explorar nuevas formas de diseño para identificar las configuraciones óptimas en almacenamiento energético teniendo en cuenta factores como la eficiencia, la durabilidad y el coste. Así, utilizando los modelos predictivos desarrollados por la IA, se podrá gestionar más eficientemente el almacenamiento de energía.

Uno de los grandes avances en este ámbito ha sido el almacenamiento mediante baterías, un sistema que permite almacenar energía de múltiples formas para su uso posterior. Las baterías reciben la electricidad de la red eléctrica —bien de la central o bien de una fuente renovable— y la almacenan en forma de corriente para después liberarla cuando sea necesario. Se trata, por tanto, de una forma de garantizar que habrá energía disponible y de reducir el desperdicio. No solo eso, sino que si se combina el sistema de baterías con un *software*, se convierte en una plataforma que aúna la capacidad de almacenamiento con la inteligencia necesaria para ofrecer una gestión avanzada del consumo energético. Es en este punto donde la IA, el aprendizaje automático y el análisis de datos avanzados pueden añadir mayor valor al sistema.

Esta tecnología está siendo expandida en EE. UU.; en el primer trimestre de 2024, la capacidad instalada aumentó en un 84% respecto del primer

trimestre de 2023⁴⁶. La tendencia es que este crecimiento continúe en las próximas décadas. Ello servirá de ayuda en la transición hacia las renovables y en la gestión de la crisis energética norteamericana, tal y como sostiene Rita King⁴⁷. Además, conforme vaya desarrollándose su tecnología, podrá extenderse a cada vez más hogares e instalaciones comerciales, proporcionando soluciones energéticas económicas y confiables a los consumidores.

3.2.5. Materiales energéticos

Los materiales utilizados en las diferentes fases del proceso energético resultan de vital importancia para el diseño de nuevas soluciones eficientes. De hecho, no resulta factible alcanzar los objetivos propuestos para 2050 sin invertir en el descubrimiento, diseño, producción y certificación de los materiales energéticos.

Los actuales avances en IA pueden ser de gran utilidad dentro de esta área, acelerando el descubrimiento de nuevos materiales; automatizando los procesos de investigación; o facilitando la aplicación práctica de las innovaciones generadas a nivel laboratorio. Estas tareas podrían generar grandes cambios en el sector energético, puesto que la llegada de nuevas materias primas o modos de empleo de estas supondrían una verdadera transformación.

Así, los redactores del Informe *AI For Energy* consideran que invertir en proyectos de IA con este objetivo puede llevar a EE. UU. a liderar el sector energético conjugando la sostenibilidad y seguridad.

3.3. EL PAPEL DE LA IA EN EL DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Existe una relación directa entre la aplicación de la IA y el desarrollo de las fuentes de energía renovables. Sin embargo, este efecto es asimétrico y difiere según el tipo de economía y país donde se implante, así, la inversión en IA será más efectiva en aquellos países con bajos niveles de fuentes renovables.

46. ROCA, José. «El mercado de almacenamiento de energía de EEUU establece un récord de instalación de capacidad en el primer trimestre.» El periódico de la energía. 20 de junio de 2024. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/mercado-almacenamiento-energia-eeuu-establece-record-instalacion-capacidad-primer-trimestre/>

47. Iberdrola. «¿Podría el almacenamiento en baterías ayudar en la transición energética en EE.UU.?» Disponible en: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/almacenamiento-de-energia-eficiente/podria-almacenamiento-baterias-ayudar-crisis-energetica-eeuu>

En las economías donde se sigue confiando en fuentes tradicionales de energía, no se ha invertido en la infraestructura necesaria para producir energía libre de carbono. Por ello, introducir algoritmos de la IA y robótica especializada a nivel industrial podría facilitar la adopción de tecnologías en energías renovables superando los obstáculos presentados en estos países.

Sin embargo, en países con una generación de energía verde bien establecida, transitar hacia nuevos programas de IA puede no ser tan beneficioso a nivel económico en comparación con su infraestructura existente. Este sería el caso de EE. UU., con un sector renovable fuerte y cada vez más desarrollado. Si en 2022 la electricidad generada por recursos libres de carbono representaba un 42% del total, las previsiones para los próximos años van en aumento, pretendiendo que en 2030 las energías renovables proporcionen entre el 72% y el 81% de la energía del país⁴⁸. Igualmente, la reducción de emisiones de carbono será mayor cuando los programas de IA se desarrollen en países menos desarrollados e industrializados. Así se ha comprobado en varias regiones poco desarrolladas de China, donde la promoción de redes de energías renovables resulta más provechosa que en otras áreas más modernas⁴⁹.

Teniendo en cuenta estos datos, es importante que desde los gobiernos se destinen fondos específicos dirigidos a la investigación en IA dentro del campo de las energías renovables. Estas ayudas podrían contribuir a desarrollar unos algoritmos más eficientes y unos sistemas de generación, almacenamiento y distribución óptimos y rentables.

No solo a través de ayudas directas pueden promover los gobiernos este tipo de acciones, sino que pueden optar por incentivos fiscales o financieros para incentivar el sector. De esta forma, se generaría una mayor sinergia entre el sector público y el privado para poder avanzar en la adopción de soluciones de la IA.

Por último, sabiendo que son los países en desarrollo los que mayor infraestructura en renovables necesitan, resulta interesante que desde Estados más punteros en el ámbito tecnológico y energético se contribuyese a

48. ROCA, José. «Las energías renovables podrían proporcionar el 81% de la energía de EEUU en 2030.» El periódico de la energía. 18 de agosto de 2023. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-energias-renovables-podrian-proporcionar-el-81-de-la-energia-de-eeuu-en-2030/>

49. ZHAO, Congyu. «How does artificial intelligence promote renewable energy development? The role of climate finance.» *Energy Economics*, Volume 133, May 2024, 107493. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107493>

financiar proyectos en otros lugares con menor expansión en estos sectores. De esta forma se pueden movilizar recursos a escala global y conseguir un paso más en la transición energética.

Así puede hacerse, por ejemplo, a través del Fondo Verde para el Clima, un mecanismo financiero de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. De hecho, EE. UU. se comprometió en diciembre de 2023 a aportar tres mil millones de dólares a este Fondo con el objetivo de subsidiar proyectos que combaten el cambio climático en países en vía de desarrollo⁵⁰.

En cualquier caso, y pese al potencial de mejora en el sector, la transformación de las renovables gracias a la aplicación de la IA es ya una realidad a nivel global. Todos los países pueden y deben hacer uso de los avances tecnológicos que la IA provee: (i) algoritmos de aprendizaje automáticos; (ii) sistemas de cálculo informáticos; y (iii) programas de procesamiento de información y toma de decisiones.

Utilizando estas herramientas, las energías renovables, especialmente la eólica y la solar, pueden desarrollarse desde diferentes áreas:

- Modelos predictivos para pronosticar la cantidad de energía que una planta eólica o fotovoltaica podría generar. Teniendo en cuenta que este tipo de energía produce de manera fluctuante debido a su dependencia climática y horaria, poder predecir la cantidad de energía a generar en una central de manera precisa resultaría de vital importancia en los diseños de generación.

Actualmente, desde las principales compañías energéticas, se están desarrollando programas de predicción de generación capaces de detectar posibles fallos en el funcionamiento de las centrales energéticas y pronosticar sus resultados de manera ajustada —se calcula que con una precisión de alrededor del 95%—.

- Monitoreo y diagnóstico de las centrales. Los algoritmos de la IA permiten desarrollar sensores y dispositivos capaces de monitorear de manera continua los datos agregados de las centrales de producción. De esta forma, se puede medir la eficiencia y el rendimiento de los equipos en funcionamiento.

50. Huellazero. «COP28: EE. UU. Promete aportar 3.000 millones de USD al Fondo Verde.» Disponible en: <https://huella-zero.org/cop28-eeuu-promete-aportar-3-000-millones-de-usd-al-fondo-verde/>

Realizar mediciones en tiempo real sin necesidad de acudir físicamente a las instalaciones reduce de manera considerable el tiempo y el dinero invertido en este tipo de energía. Igualmente, los «chatbots» con capacidades de procesamiento del lenguaje natural pueden simplificar la obtención de información crítica acerca de las instalaciones y la generación de energía, entre otros aspectos.

- Optimización y mantenimiento predictivo de las turbinas eólicas y los paneles fotovoltaicos. El continuo análisis de los datos mediante los modelos de aprendizaje automático puede mejorar el rendimiento de las instalaciones renovables, maximizando la disponibilidad de los equipos, y la producción energética de los mismos y prolongando su vida útil, y, simultáneamente, minimizando su tiempo de inactividad y costes de mantenimiento.

Además, tal y como se ha desarrollado, esta mejora de la eficiencia no solo se concentraría en el nivel productivo, sino también en las fases de transmisión y distribución de la energía. De esta forma se aumentaría la capacidad de generación a la par que se reducirían pérdidas y se mejoraría la eficiencia general de la red.

- Almacenamiento y distribución. La IA tiene en cuenta a la hora de diseñar sus estrategias de almacenamiento factores como la demanda, el precio y los recursos. Así, se puede pronosticar la demanda de energía según el momento del día y distribuir toda aquella energía que haya sido previamente almacenada en los horarios más acordes.

De igual manera, los programas de procesamiento de datos desarrollados por la IA facilitan también el monitoreo de los sistemas de almacenamiento de energía renovable, permitiendo detectar posibles fallos de manera anticipada. Consecuentemente, se podrían reducir los costes operativos a estos servicios adheridos y mejorar la precisión de los actuales diseños de almacenamiento.

- Mercado eléctrico. La integración de la IA en sistemas de baterías y almacenamiento puede permitir a los proveedores adaptarse al mercado en tiempo real y las fluctuaciones de la demanda energética. Puede maximizar la rentabilidad y garantizar mayor equilibrio entre la oferta y demanda en el mercado eléctrico⁵¹.

51. AVELAR, Luiz y Guy Borthwick. «Sun, sensors and silicon: How AI is revolutionizing solar farms.» Foro Económico Mundial. 2 de Agosto de 2024. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2024/08/how-ai-can-help-revolutionize-solar-power/>

Vistas las ventajas de la aplicación de la IA sobre las fuentes de energía renovables son muchas las compañías que están implementando este tipo de programas. Un ejemplo de ello es el caso de Google, que haciendo uso de algoritmos desarrollados por la IA fue capaz de aumentar en un 20% el valor de la energía eólica que produce⁵². La decisión de comenzar a utilizar algoritmos inteligentes permitió predecir la producción de energía de un parque eólico con más de un día de antelación, utilizando factores como la meteorología o la fluctuación del mercado energético.

Una vez conocidas las predicciones, el programa —capaz de tomar decisiones— recomienda las acciones a desarrollar para poder distribuir de manera óptima la energía comprometida, reduciendo pérdidas y maximizando la eficiencia.

Otro ejemplo de cómo las empresas de generación renovable están recurriendo a la IA es la plataforma de captura Drone Deploy, utilizada en Estados Unidos para evaluar el diseño de las granjas solares. Los análisis realizados terminan sugiriendo cambios en la disposición de las plantas fotovoltaicas para poder así incrementar la energía generada en cada punto. De esta forma, se monitorea automáticamente el estado de los paneles solares y se revisa la eficiencia en el uso de los mismos⁵³.

3.4. LA IA COMO POTENCIAL FRENO DE LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Pese a la contribución que la IA puede suponer en el ámbito energético, ésta genera también grandes desafíos a nivel medioambiental debido al consumo de energía asociado con sus modelos. En este sentido, el uso de grandes servidores para poder implementar los programas de IA supone una extracción intensiva de recursos naturales, así como un aumento de los desechos electrónicos.

Se plantea un importante desafío energético debido a la gran demanda de energía por parte de la IA, ya que sus programas de procesamiento de

52. ROCA, José. «Google usa inteligencia artificial para aumentar la eficiencia de la energía eólica.» El periódico de la energía. 3 de mayo de 2019. Disponible en: <https://elperiodicodelaenergia.com/google-usa-inteligencia-artificial-para-aumentar-la-eficiencia-de-la-energia-eolica/>

53. SPIELER, Marc. «Cómo la IA está impulsando el futuro de la energía limpia.» NVIDIA. 22 de agosto de 2023. Disponible en: <https://la.blogs.nvidia.com/blog/i-am-ai-energia-limpia/>

datos y la realización de tareas complejas requieren de un consumo energético mucho mayor al empleado por la línea habitual.

Se espera que en el año 2030 el sector de la IA consuma el 3,5% de la electricidad mundial, llegando a suponer en EE. UU. el 8% de la electricidad generada en el país frente al 3% actual⁵⁴. Ante estos datos, la Citizens Action Coalition denuncia que no habrá energía suficiente en EE. UU. para poder satisfacer las necesidades previstas de los centros de datos en los próximos 10 años.

De hecho, pese al esfuerzo realizado por las grandes empresas tecnológicas norteamericanas, la llegada de la IA ha disparado el consumo energético en los últimos años: Google aumentó entre 2019 y 2020 un 48% sus emisiones; Microsoft un 29%; y Meta un 66% entre 2021 y 2023. Siguiendo con esta tendencia, se espera que, en 2026, la IA consuma hasta 1.000 TWh anuales lo que equivaldría al consumo energético actual de Japón⁵⁵.

En concreto, «entrenar» a la IA generativa consume energía en cantidades mucho mayores que el concepto tradicional de centros de datos. Se calcula que entrenar a un modelo como GPT-3⁵⁶ usa alrededor de 1.300 megavatios hora de electricidad —el equivalente al consumo anual energético de 130 hogares en EE. UU.⁵⁷. Entrenar al siguiente modelo, el GPT-4, consumiría hasta 50 veces más⁵⁸.

Actualmente, existe un claro incentivo para el desarrollo de IA más eficiente desde un punto de vista energético: la factura de la electricidad. Los grandes desarrolladores de sistemas de IA ya han empezado a implementar mejoras que permitan un mejor rendimiento con un menor gasto energético.

54. GELLES, David. «La IA y su voraz consumo de energía atentan contra los objetivos climáticos.» The New York Times. 19 de julio de 2024. Disponible en: <https://www.nytimes.com/es/2024/07/19/espanol/ia-energia-cambio-climatico.html>

55. THOMAS, Eve. «Will AI help or hinder the energy transition?». 11 de julio de 2024. Power Technology. Disponible en: <https://www.power-technology.com/features/will-ai-help-or-hinder-the-energy-transition/>

56. *Generative Pre-trained Transformer 3*.

57. VINCENT, James. «How much electricity does AI consume?». 16 de febrero de 2024. The Verge. Disponible en: <https://www.theverge.com/24066646/ai-electricity-energy-watts-generative-consumptionHow-much-electricity-do-AI-generators-consume?> - The Verge

58. KEMENE, Eleni, Bart Valkhof y Thapelo Tladi. «AI and energy: will AI help reduce emissions or increase demand? Here's what to know.» 22 julio 2024. *Foro Económico Mundial*. AI and energy: Will AI reduce emissions or increase demand? | World Economic Forum (weforum.org)

Ahora bien, esta tendencia forma parte de lo que se conoce como el «efecto rebote» en tanto que un menor coste energético de la IA conllevará como «efecto rebote» un mayor uso de esta tecnología, incrementando el gasto energético (en lugar de reduciéndolo) a largo plazo⁵⁹.

Para hacer frente a las crecientes necesidades energéticas de la IA, los grandes desarrolladores de sistemas de IA están invirtiendo en fuentes de energías limpias (tanto renovables como nuclear). En 2023, Amazon, Meta, Google y Microsoft estaban entre los principales compradores de energías renovables.

A modo de ejemplo, se listan a continuación algunos de los proyectos y/o logros en materia de energías limpias de Amazon, Meta, Google y Microsoft:

- Google tiene el objetivo de alcanzar emisiones netas cero en todas sus operaciones. Para ello, ha formalizado diversos acuerdos con productores de energías renovables, entre los que se encuentra el acuerdo con Energix Renewables para el suministro de 1,5 GW hasta 2030⁶⁰.
- Microsoft se ha comprometido a que el 100% de su consumo energético se compense con la compra de energía limpia para 2030. Para ello, ha firmado: (i) un *Power Purchase Agreement* (i.e., acuerdo de compraventa de energía a largo plazo —PPA—) que entrará en vigor en 2028 con Helion Energy, una *startup* de fusión nuclear⁶¹; y (ii) un acuerdo con Brookfield Asset Management para la inversión de 10.000 millones de dólares en el desarrollo de 10,5 GW de energía renovable entre 2026 y 2030 para EE. UU. y Europa⁶².

59. GIBERSON, Michael. «How to productively worry about AI energy use». 10 de agosto de 2023. R Street. Disponible en: <https://www.rstreet.org/commentary/how-to-productively-worry-about-ai-energy-use/>

60. SBEGLIA Nin, Catherine «Google signs renewable energy deal to power AI data centers» RCR Wireless News. Disponible en: <https://www.rcrwireless.com/20240821/data-center/google-signs-renewable-energy-deal-to-power-ai-data-centers#:~:text=Google%20has%20signed%20a%20long,centers%20that%20run%20AI%20applications>

61. ROCA, Ramón «Helion cierra el primer PPA de la historia de la energía de fusión con Microsoft» El periódico de la energía. Disponible en: https://elperiodicodelaenergia.com/helion-cierra-el-primer-ppa-de-la-historia-de-la-energia-de-fusion-con-microsoft/#google_vignette

62. KIMBALL, Spencer «Microsoft signs deal to invest more than \$10 billion on renewable energy capacity to power data centers» CNBC. Disponible en: <https://www.cnbc.com/2024/05/01/microsoft-brookfield-to-develop-more-than-10point5-gigawatts-of-renewable-energy.html>

- Amazon ha alcanzado su objetivo de compensar el 100% de su consumo energético (incluido el de los centros de datos) con energía renovable. Para ello, ha invertido en más de 500 proyectos fotovoltaicos y eólicos a nivel mundial que son capaces de generar suficiente energía para abastecer 21,9 millones de hogares estadounidenses⁶³.
- Meta tiene acuerdos a largo plazo para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos de (i) 330 MW en Illinois y Arkansas; y (ii) 349 MW en Missouri⁶⁴.

Estas iniciativas de los mayores desarrolladores de IA a nivel mundial suponen un impulso sin precedentes en la generación de energía limpia para la transición energética, tanto en el desarrollo de proyectos de generación de energía renovable como en proyectos de desarrollo de energía nuclear.

Así, si bien a fecha de este artículo, el rápido crecimiento de la IA podría suponer un freno a la consecución de los objetivos de transición energética debido a su alto consumo de energía (que, además, no estaba previsto en dichos objetivos), la necesidad de abastecer a largo plazo los centros de datos de manera segura, ininterrumpida y de forma asequible está suponiendo un incremento de las inversiones de los grandes desarrolladores en la implementación de energías limpias.

CONCLUSIÓN

A modo de conclusión:

- A nivel geopolítico el impacto de la IA terminará por determinar el nuevo orden mundial y las estructuras políticas y militares presentes en la sociedad. En este juego entre Estados, EE. UU., China y Rusia compiten por el liderazgo.
- EE. UU. es líder en el desarrollo de herramientas de IA, lo cual ha generado una creciente preocupación entre los votantes americanos por los riesgos inherentes a la aplicación de sistemas de IA en todos

63. Amazon «Amazon meets 100% renewable energy goal seven years early». Disponible en: <https://www.aboutamazon.eu/news/sustainability/amazon-meets-100-renewable-energy-goal-seven-years-early>

64. SCOTT, Wassmer «Powering The Future Of AI: Addressing The Looming Energy Challenge». *Forbes*. Disponible en: <https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2024/07/16/powering-the-future-of-ai-addressing-the-looming-energy-challenge/>

los sectores de la economía estadounidense que ha llevado a una voluntad por parte tanto del gobierno federal como de los diferentes Gobiernos estatales de establecer principios comunes para su uso. No obstante, la aprobación de normativa que debería acompañar este crecimiento de la IA se encuentra en una fase inicial, sin que exista una regulación integral que establezca un marco claro para el medio o largo plazo.

- Sin perjuicio de lo anterior, a nivel sectorial existe un desarrollo de iniciativas más específicas y de mayor aplicación práctica. Entre ellas, destaca en el ámbito energético, el uso de la IA para el fomento de la transición ecológica.

La aplicación de la IA puede resultar en una aceleración y optimización de recursos para la transición energética. En concreto, en EE. UU. se han tomado medidas en relación con los siguientes ámbitos: (i) energía nuclear; (ii) red eléctrica; (iii) gestión del carbono; (iv) almacenamiento energético; y (v) materiales energéticos. Adicionalmente, existe también un creciente uso de la IA en el ámbito del desarrollo de proyectos renovables.

- Ahora bien, no existe una opinión unánime sobre dicho papel acelerador, ya que el uso de la IA supone un incremento considerable del consumo energético, llegando a considerarse que impediría la consecución de la transición energética. Para hacer frente a estos desafíos, los grandes desarrolladores estadounidenses de IA están optando por la inversión a gran escala en fuentes de energía no emisoras (tanto nucleares como renovables) para cubrir la demanda de energía.
- Por todo ello, la regulación es una herramienta esencial para el desarrollo y uso sostenible y seguro de la IA. En el ámbito de la energía, la IA supone tanto una oportunidad como un obstáculo en la consecución de los objetivos medioambientales. En definitiva, en EE. UU. parece que la solución estaría en la sinergia entre las iniciativas públicas y las privadas.

REFERENCIAS

AI Index Steering Committee; Perrault, Ray; Clark, Jack, «Artificial Intelligence Index Report 2024», Institute for Human-Centered AI, Stanford University, abril 2024. https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2024/05/HAI_AI-Index-Report-2024.pdf

Amazon, «Amazon meets 100% renewable energy goal seven years early». <https://www.aboutamazon.eu/news/sustainability/amazon-meets-100-renewable-energy-goal-seven-years-early>

American Bar Association, «What is an Executive Order?». https://www.americanbar.org/groups/public_education/publications/teaching-legal-docs/what-is-an-executive-order/

Argonne National Laboratory, «Revolutionizing energy grid maintenance: How artificial intelligence is transforming the future» (autora: Liz Thompson). <https://www.anl.gov/article/revolutionizing-energy-grid-maintenance-how-artificial-intelligence-is-transforming-the-future>

Avelar, Luiz; Borthwick, Guy, «Sun, sensors and silicon: How AI is revolutionizing solar farms», Foro Económico Mundial, 2 de agosto de 2024. <https://www.weforum.org/agenda/2024/08/how-ai-can-help-revolutionize-solar-power/>

Blinken, Antony J. (U.S. Department of State), «A Foreign Policy for the American People» (transcripción), 3 de marzo de 2021. <https://2021-2025.state.gov/a-foreign-policy-for-the-american-people/>

Blueprint for an AI Bill of Rights. <https://www.whitehouse.gov/ostp/ai-bill-of-rights/>

Booth, Harry, «Republicans» Vow to Repeal Biden's AI Executive Order Has Some Experts Worried», Time Magazine, 11 de julio de 2024. <https://time.com/6996927/republicans-repeal-biden-ai-executive-order/>

BSA — The *Software Alliance*, «2023 State AI Legislation Summary», 21 de septiembre de 2023. <https://www.bsa.org/files/policy-filings/09222023s-tatelegai.pdf>

Departamento de Energía de EE. UU., «El Departamento de Energía de EE. UU. publica el primer plan federal para descarbonizar el sector de la construcción en Estados Unidos», 2 de abril de 2024. <https://www.energy.gov/articles/el-departamento-de-energia-de-ee-uu-publica-el-primer-plan-federal-para-descarbonizarel#:~:text=econom%C3%ADa%20de%20EE.,UU.,en%20un%2090%25%20para%202050>

Executive Order on Promoting the Use of Trustworthy Artificial Intelligence in the Federal Government, 3 de diciembre de 2020. <https://www.federalregister.gov/documents/2020/12/08/2020-27065/promoting-the-use-of-trustworthy-artificial-intelligence-in-the-federal-government>

- Executive Order on the Safe, Secure, and Trustworthy Development and Use of Artificial Intelligence, 30 de octubre de 2023. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/presidential-actions/2023/10/30/executive-order-on-the-safe-secure-and-trustworthy-development-and-use-of-artificial-intelligence/>
- EY, «El entorno regulatorio global de la Inteligencia Artificial (IA)», octubre 2023. https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/es_es/topics/ey-insights/ey-el-entorno-regulatorio-global-inteligencia-artificial.pdf
- Farge, Emma, «China leading generative AI patents race, UN report says», Reuters, 3 de julio de 2024. <https://www.reuters.com/technology/artificial-intelligence/china-leading-generative-ai-patents-race-un-report-says-2024-07-03/>
- Gelles, David, «La IA y su voraz consumo de energía atentan contra los objetivos climáticos», The New York Times, 19 de julio de 2024. <https://www.nytimes.com/es/2024/07/19/espanol/ia-energia-cambio-climatico.html>
- Giberson, Michael, «How to productively worry about AI energy use», R Street, 10 de agosto de 2023. <https://www.rstreet.org/commentary/how-to-productively-worry-about-ai-energy-use/>
- Gross, Grant, «The complex patchwork of US AI regulation has already arrived», CIO, 5 de abril de 2024. (URL según nota: «The complex patchwork of US AI regulation has already arrived | CIO»)
- H.R. 3935 — FAA Reauthorization Act of 2024. <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/3935>
- H.R. 5515 — National Defense Authorization Act for Fiscal Year 2019. <https://www.congress.gov/115/bills/hr5515/BILLS-115hr5515enr.pdf>
- H.R. 6216 — National Artificial Intelligence Initiative Act of 2020. <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/6216>
- HuellaZero, «COP28: EE. UU. promete aportar 3.000 millones de USD al Fondo Verde». <https://huella-zero.org/cop28-eeuu-promete-aportar-3-000-millones-de-usd-al-fondo-verde/>
- Iberdrola, «¿Podría el almacenamiento en baterías ayudar en la transición energética en EE. UU.?». <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/almacenamiento-de-energia-eficiente/podria-almacenamiento-baterias-ayudar-energia-eficiente-eeuu>

- Ipsos, «Global Views on A.I. 2023 — How people across the world feel about artificial intelligence and expect it will impact their life (a 31-country Global Advisory survey)», julio 2023. https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2023-07/Ipsos%20Global%20AI%202023%20Report-WEB_0.pdf
- Kemene, Eleni; Valkhof, Bart; Tladi, Thapelo, «AI and energy: will AI help reduce emissions or increase demand? Here's what to know», World Economic Forum, 22 de julio de 2024. <https://www.weforum.org/agenda/2024/07/ai-and-energy-will-ai-reduce-emissions-or-increase-demand/>
- Kimball, Spencer, «Microsoft signs deal to invest more than \$10 billion on renewable energy capacity to power data centers», CNBC. <https://www.cnbc.com/2024/05/01/microsoft-brookfield-to-develop-more-than-10point5-gigawatts-of-renewable-energy.html>
- Kull, Steven, «Regulating Artificial Intelligence. A National Survey of Registered Voters», University of Maryland, marzo 2024. https://vop.org/wp-content/uploads/2024/04/AI_Report_0324.pdf
- Leimbach, Sydney, «NASA, ADC USA Validate New Form of Renewable-Friendly Energy Transmission», Environment + Energy Leader, 28 de septiembre de 2023. <https://www.environmentenergyleader.com/stories/nasa-adc-usa-validate-new-form-of-renewable-friendly-energy-transmission,4714>
- Maldita, «La carrera geopolítica de la inteligencia artificial: Estados Unidos y China en cabeza, mientras la UE se posiciona como regulador», 16 de julio de 2024. <https://maldita.es/malditatecnologia/20240716/carerra-geopolitica-inteligencia-artificial/>
- Marr, Bernard, «Estos son los 15 mayores riesgos de la IA», Forbes, 28 de julio de 2023. <https://forbes.es/tecnologia/316482/estos-son-los-15-mayores-riesgos-de-la-ia/>
- Mediavilla Martínez, Jorge, «Demócratas y republicanos, de acuerdo en proteger los contenidos de la IA», CMS, 18 de julio de 2024. <https://www.mejorcms.com/periodismo/usa-protege-contenido-ia/>
- Montes, Lidia, «La UE se queda rezagada en inteligencia artificial respecto a EEUU y China, según el Tribunal de Cuentas», elEconomista.es. <https://www.economista.es/tecnologia/noticias/12839185/05/24/la-ue-se-queda-rezagada-en-inteligencia-artificial-respecto-a-eeuu-y-china-segun-el-tribunal-de-cuentas.html>

NASA (NTRS), Prasad, Narasimha, «Alternating Direct Current (ADC) — A New Form of Efficient Energy Transmission». <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20230014561/downloads/ADC%20Energy%20Charts-Final.pdf>

NCSL — National Conference of State Legislatures, «Artificial Intelligence 2023 Legislation», 12 de enero de 2024. <https://www.ncsl.org/technology-and-communication/artificial-intelligence-2023-legislation>

NCSL, «Artificial Intelligence 2023 Legislation», 12 de enero de 2024. <https://www.ncsl.org/technology-and-communication/artificial-intelligence-2023-legislation>

Odelberg, Trevor, «Understanding the Future of Artificial Intelligence Governance: comparing the EU AI Act and U.S. Executive Order on Safe AI», Universidad de Michigan. (stpp-future-of-ai-governance.pdf (umich.edu))

Office of Nuclear Energy (DOE), «5 Fast Facts on Nuclear Energy», 11 de junio de 2024. <https://www.energy.gov/ne/articles/5-fast-facts-about-nuclear-energy>

Perrigo, Billy, «Exclusive: US Voters Value Safe AI Development Over Racing Against China, Poll Shows», Time Magazine, 8 de julio de 2024. <https://time.com/6996090/ai-china-american-voters-poll/>

Reglamento (UE) 2024/1689, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de junio de 2024, por el que se establecen normas armonizadas en materia de inteligencia artificial y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 300/2008, (UE) n.º 167/2013, (UE) n.º 168/2013, (UE) 2018/858, (UE) 2018/1139 y (UE) 2019/2144, y las Directivas 2014/90/UE, (UE) 2016/797 y (UE) 2020/1828 (Reglamento de Inteligencia Artificial).

Roca, José, «El mercado de almacenamiento de energía de EEUU establece un récord de instalación de capacidad en el primer trimestre», El Periódico de la Energía, 20 de junio de 2024. <https://elperiodicodelaenergia.com/mercado-almacenamiento-energia-eeuu-establece-record-instalacion-capacidad-primer-trimestre/>

Roca, José, «Google usa inteligencia artificial para aumentar la eficiencia de la energía eólica», El Periódico de la Energía, 3 de mayo de 2019. <https://elperiodicodelaenergia.com/google-usa-inteligencia-artificial-para-aumentar-la-eficiencia-de-la-energia-eolica/>

Roca, José, «Las energías renovables podrían proporcionar el 81% de la energía de EEUU en 2030», El Periódico de la Energía, 18 de agosto de

2023. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-energias-renovables-podrian-proporcionar-el-81-de-la-energia-de-eeuu-en-2030/>

Roca, Ramón, «Helion cierra el primer PPA de la historia de la energía de fusión con Microsoft», El Periódico de la Energía. https://elperiodicodelaenergia.com/helion-cierra-el-primer-ppa-de-la-historia-de-la-energia-de-fusion-con-microsoft/#google_vignette

S. 1564 — AI Leadership Training Act (118.º Congreso). <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/senate-bill/1564>

Sbeglia Nin, Catherine, «Google signs renewable energy deal to power AI data centers», RCR Wireless News, 21 de agosto de 2024. <https://www.rcrwireless.com/20240821/data-center/google-signs-renewable-energy-deal-to-power-ai-data-centers>

Scott, Wassmer, «Powering the Future of AI: Addressing the Looming Energy Challenge», Forbes, 16 de julio de 2024. <https://www.forbes.com/councils/forbesbusinesscouncil/2024/07/16/powering-the-future-of-ai-addressing-the-looming-energy-challenge/>

Shepardson, David, «Trump signs order on principles for U.S. government AI use», Reuters, 4 de diciembre de 2020. <https://www.reuters.com/article/technology/trump-signs-order-on-principles-for-us-government-ai-use-idUSKBN28E06L/>

Spieler, Marc, «Cómo la IA está impulsando el futuro de la energía limpia», NVIDIA Blog, 22 de agosto de 2023. <https://la.blogs.nvidia.com/blog/i-am-ai-energia-limpia/>

The White House, «FACT SHEET: President Biden Issues Executive Order on Safe, Secure, and Trustworthy Artificial Intelligence». <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2023/10/30/fact-sheet-president-biden-issues-executive-order-on-safe-secure-and-trustworthy-artificial-intelligence/>

Thomas, Eve, «Will AI help or hinder the energy transition?», Power Technology, 11 de julio de 2024. <https://www.power-technology.com/features/will-ai-help-or-hinder-the-energy-transition/>

U.S. Nuclear Regulatory Commission, Artificial Intelligence Strategic Plan. Fiscal Years 2023-2027 (NUREG-2261). <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr2261/index.html>

Vincent, James, «How much electricity does AI consume?», The Verge, 16 de febrero de 2024. <https://www.theverge.com/24066646/ai-electricity-energy-watts-generative-consumption>

Wang, Bo, «How does artificial intelligence affect high-quality energy development? Achieving a clean energy transition society», *Energy Policy*, vol. 186, marzo 2024, 114010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2024.114010>

Zhao, Congyu, «How does artificial intelligence promote renewable energy development? The role of climate finance», *Energy Economics*, vol. 133, mayo 2024, 107493. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107493>

El papel de la IA en la digitalización y reforma del mercado europeo de la electricidad

CARLOS PADROS-REIG

*Profesor de Derecho de la Unión Europea
Facultad de Derecho UAB — Cátedra Manuel Ballbé
de Seguridad Humana y Derecho Global*

SUMARIO: 1. INTRODUCCIÓN. 2. IMPACTO DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL MERCADO DE LA ELECTRICIDAD. EL EU ACTION PLAN Y LA COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN (COM (2022) 552, FINAL). 2.1. *Ejemplos concretos que ilustran los cambios.* 2.2. *Cambios regulatorios.* 3. NUEVA REGULACIÓN PARA UNA NUEVA REALIDAD. EL REGLAMENTO (EU) 2024/1747 DE 13 DE JUNIO, Y DIRECTIVA (EU) 2024/1711 DE 13 DE JUNIO. 3.1. *Adaptación de los mercados intradía a la irrupción de las energías renovables.* 3.2. *Creación de mecanismos de aplanamiento de la variabilidad del consumo.* 3.3. *Base jurídica para el tratamiento de datos.* 3.4. *Mercados a plazo (Power Purchase Agreements (PPA) o, en castellano, Contratos de Compra de Energía (CCE).* 3.5. *Contratos bidireccionales por diferencia.* 3.6. *Consumidores activos.* CONCLUSIONES. REFERENCIAS.

Resumen

La liberalización del mercado eléctrico de finales del siglo pasado supuso un enorme cambio en el modo de generar y consumir energía, así como una transformación de las estructuras y técnicas de regulación. En la actualidad, la digitalización del sector, con la entrada de contadores inteligentes, internet de las cosas, redes eficientes y consumidores activos, supone, en igual o mayor medida, una completa revolución en el modo de concibir y regular el sector de la energía eléctrica. Aspectos como la descentralización de las fuentes, la recopilación y gestión de los datos personales, la tarificación dinámica o los contratos bidireccionales presentan un enorme desafío tanto para los operadores como para los reguladores. Un nuevo sector eléctrico requiere de una nueva regulación administrativa europea.

Abstract

Liberalisation of the electricity market at the end of the last century brought about a huge change in the way energy was generated and consumed as well as a transformation of regulatory structures and techniques. Today, the digitalisation of the sector with the introduction of smart meters, the Internet of Things, efficient grids and active consumers, represents, to an equal or greater extent, a complete revolution in the way the electricity sector is conceived and regulated. Aspects such as the decentralisation of sources, the collection and management of personal data, dynamic pricing and bidirectional contracts present an enormous challenge for both operators and regulators. A new electricity sector requires new European administrative regulation.

Palabras clave

Mercado eléctrico; digitalización; redes inteligentes; consumidores activos; tarificación dinámica.

Keywords

Electricity market; digitalisation; smart grids, active consumers, Dynamic price fixing.

1. INTRODUCCIÓN

Como suele ocurrir en muchos otros sectores económicos, la revolución tecnológica ha transformado la forma en que se producen, distribuyen y consumen los bienes. El mercado eléctrico no es una excepción. Cualquiera puede observar la concurrencia de fenómenos como la diversificación de fuentes, la atomización y la desintermediación. Lo que hasta ahora estaba regulado en varias fases del proceso de producción-consumo (generación, transporte y comercialización), está sufriendo rápidamente un cambio radical.

Los mercados no preexisten como una forma de organización social sino que se desarrollan en un marco regulatorio determinado. En los denominados sectores regulados¹ o, según la jerga comunitaria, sectores de interés económico general (SIEG), cada opción de negocio responde a un determinado tipo de regulación. Correlativamente, el cambio en la estructura y funcionamiento del mercado debe necesariamente ir acompañado de nuevas regulaciones que aborden nuevos aspectos, tales como la optimización del cruce producción-demanda (precio), la conexión-desconexión de unidades

1. MORALES PLAZA, A. (2010) *Tratado del sector público estatal*. La Ley, Madrid.

de producción (predicción de capacidad), el funcionamiento de redes inteligentes o el almacenamiento de energía.

El propósito de las páginas que siguen es presentar sintéticamente este fenómeno y responder dos cuestiones: (i) el impacto de los desarrollos tecnológicos en la regulación del mercado tradicional de la electricidad; (ii) analizar preliminarmente la adecuación o inadecuación de las recientes respuestas regulatorias adoptadas como consecuencia de esos cambios. Para ello, utilizamos una metodología descriptivo-crítica, que comprende tanto el estudio jurídico del derecho vigente como un análisis de políticas públicas que la digitalización/IA necesitará para adaptar el mercado eléctrico de la UE a esta nueva realidad.

Si echamos la mirada atrás, la liberalización del sector eléctrico en los años noventa del siglo pasado y la consiguiente apertura de mercados puramente domésticos, transformó significativamente la forma en que se regulaba y operaba el sector eléctrico. A continuación se muestran algunos cambios clave que se produjeron debido a la liberalización:

- Libre competencia en el mercado. Antes de la liberalización, muchos mercados de electricidad estaban dominados por monopolios estatales. La liberalización introdujo la competencia, permitiendo que nuevos operadores ingresaran al mercado. El objetivo era obtener precios más bajos y mejores servicios para los consumidores.
- Descentralización. La liberalización fomentó la descentralización de la producción de energía. Los productores de energía independientes ahora podían generar electricidad y venderla en el mercado, en lugar de depender únicamente de grandes empresas de servicios públicos centralizados.
- Estructuras de mercado. Surgieron varias estructuras de mercado nuevas, incluidos mercados mayoristas donde se podía comercializar electricidad. También mercados minoristas que permitan a los consumidores elegir sus proveedores de electricidad. Se suponía que esta mayor elección empoderaría a los consumidores, lo que, a la postre, constituye un elemento clave para el buen funcionamiento de la competencia.
- Señales de precios y respuesta de la demanda. Con mercados liberalizados, los precios de la electricidad pueden fluctuar según la oferta y la demanda. Esto incentiva a los usuarios a ajustar su con-

sumo en función de las señales de precios, promoviendo la eficiencia energética y programas de respuesta a la demanda. Por el contrario, apareció el riesgo de volatilidad del mercado.

- Comercio transfronterizo. La liberalización facilitó el comercio transfronterizo de electricidad, permitiendo a los países compartir recursos y estabilizar sus redes. Esta interconectividad puede mejorar la seguridad y la eficiencia energética.
- Marco regulatorio. La liberalización se acompañó del desarrollo de agencias reguladoras independientes. Estas organizaciones supervisan las operaciones del mercado, garantizando la equidad, la transparencia y la protección de los intereses de los consumidores, al tiempo que facilitan la competencia. Dado que muchos operadores (anteriores monopolios públicos) mantenían estrechos vínculos con la administración pública, se necesitaba un nuevo tipo de regulador no burocrático.

En general, la liberalización de los mercados de electricidad supuso pasar de sistemas centralizados y regulados a modelos más competitivos y orientados al mercado, lo que promovió la eficiencia y la innovación y al mismo tiempo planteó nuevos desafíos regulatorios. La desintegración vertical del sector y la separación de las actividades de generación, transporte y comercialización permitió la introducción de competencia. Aunque todavía hoy el Derecho de la UE no excluye la posibilidad de una reserva monopolista a favor del Estado, impone algunas nuevas herramientas regulatorias que afectan a la organización y prestación de servicios de interés general. En conjunto, estas impresionantes transformaciones producto de la liberalización del mercado supusieron el surgimiento de nuevas técnicas regulatorias:

- Unbundling. Consiste en la separación de la gestión de la infraestructura de la prestación del servicio. La desintegración vertical del sector eléctrico europeo implicó la división de las actividades de generación, transmisión, distribución y venta minorista. Como resultado del proceso de desagregación, las empresas integradas verticalmente ya no pueden generar, transportar, comercializar y suministrar electricidad y, al mismo tiempo, gestionar las redes de transmisión y distribución. Esta técnica fue introducida en el primer paquete energético en 1996, exigiendo a las empresas integradas verticalmente dividir la contabilidad según las diferentes actividades. Como esto era claramente insuficiente para crear un mercado competitivo, en la segunda directiva (Directiva 2003/54/

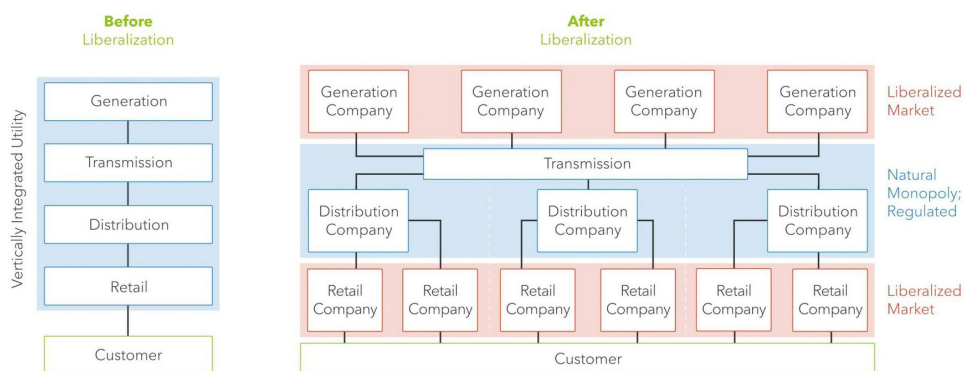
CE y Directiva 2003/55/CE), introducida en 2003, se exigió la desagregación jurídica. Permitió que una sola empresa operara solo en una de las actividades de la cadena de valor de la electricidad: generación, transmisión, distribución o suministro (pero diferentes empresas aún podían formar parte del mismo holding). No es hasta septiembre de 2009 cuando la separación de la propiedad se hace obligatoria (Directiva 2009/72/CE y Directiva 2009/73/CE, Reglamentos (CE) 713/2009, 714/2009 y 715/2009).

- Acceso de terceros. Los monopolios naturales creados por la existencia de infraestructuras de red pueden fragmentarse para garantizar el acceso libre y equitativo de nuevos operadores. El mecanismo de concesión de acceso a terceros (*newcomers*) constituye un paso definitivo en la liberalización de un antiguo monopolio natural. El propietario de la infraestructura debe permitir que otros operadores puedan utilizarla mediante el pago de un canon justo e igualitario. Siguiendo estos dos principios (desintegración vertical y acceso de terceros), surge la evidencia de que la gestión de la infraestructura no siempre es neutral. Además, la limitación de la capacidad de las infraestructuras provoca obstáculos a la entrada de nuevos operadores y, por tanto, al proceso de liberalización y la introducción de la competencia. La provisión de infraestructuras adecuadas para los servicios de red constituye un requisito para la liberalización de la economía y se sitúa ordinariamente dentro del ámbito de responsabilidades del Estado.
- Desagregación horizontal. Servicio universal. La clásica regulación, consistente en la reserva de un sector entero de actividad al Estado, se sustituye por la definición de un núcleo esencial de prestaciones de servicios que se deben garantizar a los ciudadanos en determinadas condiciones de accesibilidad a los precios. Mientras que el servicio público o la reserva monopolística suponen la eliminación completa de los mecanismos de mercado en un sector determinado (por ejemplo, el conjunto del servicio postal), la definición de servicio universal sólo impone un cierto grado de prestación de servicios y un modelo de financiación (la distribución postal de cartas de hasta 35 gr.).
- Financiación transparente. La tendencia liberalizadora implica el control de las ayudas estatales a sus empresas que puedan ejecutar la función de proveedores de servicios universales. Esto no significa

que se eliminen las ayudas de forma generalizada y que no haya opción de establecer un modelo de financiación de las obligaciones de servicio público económicamente no rentables pero socialmente positivos. Al suprimir las subvenciones cruzadas, no se trata de impedir la realización de actividades económicamente no rentables, sino de introducir transparencia en el cálculo de los costes y de las contribuciones del Estado (independientemente de que el operador sea público o privado) a través de los llamados fondos de compensación u otros mecanismos análogos.

En expresión gráfica:

Liberalization of Energy Markets



Fuente: <https://www.next-kraftwerke.com/knowledge/liberalization-energy-markets>

En resumen, los Estados abandonan la prestación directa de servicios a través de monopolios estatales e intervienen en un sector determinado mediante la regulación y la disciplina de mercado. Ya no hay argumentos válidos contra la propiedad estatal de los proveedores de servicios universales, siempre que éstos operen con pleno respeto a la competencia en el mercado con los participantes privados. Si analizamos el sector de las telecomunicaciones, está claro que en la mayoría de los modelos regulatorios nos encontrábamos ante subsidios cruzados. Las llamadas telefónicas internacionales normalmente tenían precios altos para permitir que el operador subsidiase internamente el precio de las llamadas telefónicas locales. La tarifa de los usuarios internacionales tenía una función redistributiva. El problema con ese sistema era que era muy complejo y poco transparente. Como la necesidad de ofrecer servicios telefónicos

básicos a la población sigue estando presente, los procesos de liberalización transformaron los subsidios cruzados de tarifas en la existencia de un fondo de compensación al que todas las empresas debían contribuir para garantizar la financiación de las obligaciones de servicio universal. Las técnicas son completamente diferentes, pero el objetivo social de la protección del consumidor local sigue siendo el mismo. La clara apuesta por la competencia en los mercados y la entrada de nuevos actores ha impactado en el nuevo tipo de regulaciones administrativas ahora centradas en: (i) eliminación de barreras de entrada donde se han simplificado los procesos administrativos para que nuevos oferentes puedan acceder al mercado; (ii) promoción de la transparencia de precios buscando asegurar que los consumidores tengan acceso a información clara sobre precios y opciones disponibles; (iii) facilitar la comparación de ofertas a través de la creación de plataformas que permitan a los consumidores comparar diferentes proveedores y servicios.

Por último, pero no menos importante, la descentralización ha fomentado una mayor presencia de energías verdes. La falta de recursos y la creciente concienciación de la sociedad sobre el medio ambiente parecen indicar que las fuentes de energía renovables son la respuesta a la crisis energética, aunque su plena adopción todavía se ve obstaculizada principalmente por las siguientes razones: (i) variabilidad: a diferencia de las fuentes de energía tradicionales, la generación de energías renovables depende de factores naturales, como la intensidad del sol o la fuerza del viento, lo que hace que la energía generada sea variable, mientras que el consumo de los usuarios no lo es. Esta característica dificulta considerablemente la gestión energética y requiere buenos mecanismos de previsión meteorológica para contrarrestar la variabilidad; (ii) menor potencia: en comparación con las energías tradicionales, la potencia obtenida por las plantas de energía renovable era tan baja que — tal vez no en la actualidad — sería imposible realizar la transición energética completa manteniendo el nivel de gasto energético que se produce con las energías tradicionales.

La liberalización facilita la integración de fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, a la red eléctrica. Las regulaciones incluyen: (i) incentivos económicos/subvenciones o tarifas preferenciales para la generación de energía renovable; (ii) estándares de conexión: requisitos técnicos para que las instalaciones de energía renovable se conecten a la red de manera segura y eficiente; (iii) mecanismos de compensación que permitan a los productores de energía renovable recibir una compensación por la energía que inyectan a la red.

En definitiva, las transformaciones del mercado derivadas de la liberalización han modificado sin duda el marco regulatorio tradicional para la producción y el consumo de electricidad.

2. IMPACTO DE LA DIGITALIZACIÓN EN EL MERCADO DE LA ELECTRICIDAD. EL EU ACTION PLAN Y LA COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN (COM (2022) 552, FINAL)

Después de la liberalización, las sociedades desarrolladas se enfrentan a una segunda revolución. Las tecnologías digitales han transformado nuestra sociedad y nuestra economía, afectándonos a todos en nuestra vida diaria en casa o en el trabajo. En un momento en el que generamos cantidades cada vez mayores de datos, podríamos incluso considerar éstos uno de los «motores» que pueden impulsar la transición energética, junto con la eficiencia energética o las fuentes de energía renovables.

En términos generales, la digitalización significa muchas cosas. Entre ellas se incluyen, por ejemplo, la inteligencia artificial (IA), el procesamiento avanzado de datos (ADP), el Internet de las cosas (IoT) o el aprendizaje automático. Estas nuevas tecnologías ofrecen grandes posibilidades para mejorar la eficiencia y gestionar la complejidad del sistema energético a lo largo de todas las partes de la cadena de suministro, desde la planificación, la operación y el mantenimiento de la infraestructura, pasando por la generación y transmisión de energía, hasta el consumo final de energía.

Las tecnologías digitales como los dispositivos y medidores inteligentes de IoT, la conectividad 5G y 6G, un espacio de datos energéticos paneuropeo alimentado por servidores de computación en la nube y los llamados *digital-twins*² del sistema energético facilitan la transición a la energía limpia, al tiempo que aportan beneficios a nuestra vida cotidiana. Por ejemplo, pueden ayudarnos a visualizar nuestro consumo energético en tiempo real y recibir consejos personalizados sobre cómo reducirlo. Las herramientas digitales pueden controlar automáticamente la temperatura ambiente, cargar los coches eléctricos y gestionar los electrodomésticos para aprovechar los

2.. Un gemelo digital es una réplica virtual de un producto, proceso o sistema físico. Los gemelos digitales son la unión entre el mundo físico y el mundo digital mediante el uso de sensores para recopilar datos en tiempo real sobre un elemento físico. Los datos recopilados se utilizan para crear un duplicado digital del objeto, lo que permite comprenderlo, analizarlo, manipularlo y optimizarlo. La tecnología digital twin se utiliza para simular resultados, mejorar el rendimiento o predecir y analizar reacciones ante determinados estímulos. <https://opensistemas.com/gemelo-digital-ejemplos/>

precios más bajos de la energía, preservando al mismo tiempo un ambiente interior confortable y saludable. Con las herramientas digitales, las autoridades públicas también pueden cartografiar, controlar y abordar mejor la pobreza energética, mientras que el sector energético puede optimizar mejor sus operaciones y priorizar el uso de energías renovables.³

De acuerdo con el EU Commission staff document que acompaña el EU Action Plan para la digitalización⁴, las principales características de la digitalización son:

ACCESO	La disminución de los costes del proceso de medición e intercambio de información hace de los datos una fuente valiosa tanto para el sector público como para el privado.
ALGORITMOS	Compartir información de manera más rápida y fácil ayuda a las predicciones y por tanto desemboca en una mejor toma de decisiones.
AUTOMATIZACIÓN	Cada vez un mayor número de funciones pueden adoptarse y ejecutarse sin intervención humana — por ejemplo, asistentes virtuales y coches autónomos.

2.1. EJEMPLOS CONCRETOS QUE ILUSTRAN LOS CAMBIOS

- a. Contadores inteligentes: «Los contadores inteligentes proporcionan información completa tanto a los usuarios como a los proveedores sobre los perfiles de consumo de los hogares, que son esenciales para implementar soluciones de eficiencia energética. Los contadores inteligentes también permiten establecer tarifas horarias personalizadas para los clientes, lo que incentiva la planificación del consumo de electricidad en función del tiempo de uso durante un intervalo de 24 horas. En consecuencia, las tarifas horarias personalizadas modifican los perfiles de consumo de electricidad en determinadas horas con respecto a otras y permiten la implementación de servicios de flexibilidad específicos. La implementación de contadores inteligentes requiere la adopción de actos de ejecución sobre datos de interoperabilidad para los datos de consumo y medición a fin

3.. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. DIGITALISING THE ENERGY SYSTEM — EU ACTION PLAN. Strasbourg, 18.10.2022 COM (2022) 552 final.

4.. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022SC0341>

de permitir un intercambio fluido de datos, evitar costes administrativos excesivos para las partes elegibles y, en última instancia, promover la competencia en el mercado minorista».

Para abordar estos numerosos aspectos, se ha aprobado un reglamento UE específico sobre los requisitos de interoperabilidad sobre los datos históricos de medición y consumo proporcionados a través de contadores inteligentes.⁵ En este aspecto, los datos deben proporcionarse a través de una interfaz estandarizada o mediante acceso remoto para poder ser utilizados y procesados por un sistema de gestión energética, una pantalla en el hogar u otro sistema.

- b. **Redes eficientes:** Las empresas energéticas están utilizando tecnologías digitales para mejorar la eficiencia, la fiabilidad y la seguridad de la red eléctrica. Esto incluye la implementación de medidores inteligentes, que permiten el monitoreo del consumo de energía en tiempo real, y la integración de fuentes de energía renovables como la energía eólica y solar.

Una microrred es esencialmente un modelo de energía eléctrica en miniatura y localizado dentro de un sistema de red completo, en el que la generación, el almacenamiento, la distribución y el consumo de energía eléctrica se lleva a cabo para una ubicación geográfica específica. Estas ubicaciones pueden ser instalaciones mineras, sitios industriales, complejos hospitalarios y otras empresas que no pueden permitirse el riesgo de cortes de energía, o incluso comunidades residenciales propensas a apagones debido a la lejanía o la falta de fiabilidad de la energía centralizada. También es posible crear microrredes más pequeñas, llamadas nanorredes, que son un sistema de distribución de energía para una sola casa o un edificio pequeño, con la capacidad de conectarse o desconectarse de otras entidades de energía a través de un enlace. Una microrred está compuesta por uno o más activos DER, como paneles solares, turbinas eólicas, generadores de gas, etc., que producen energía eléctrica en la misma ubicación que las cargas de energía.⁶ Mediante sofisticados

-
- 5.. Commission Implementing Regulation (EU) 2023/1162 of 6 June 2023 on interoperability requirements and non-discriminatory and transparent procedures for access to metering and consumption data. OJ L 154 of June 15 2023. Available at https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2023/1162/oj
 - 6. Distributed Energy Resources (DER) <https://www.energiaysociedad.es/integrar-los-der-para-aumentar-la-flexibilidad-del-sistema-electrico/> cfr. igualmente <https://www.miteco.gob.es/es/energia/renovables.html>

controladores de microrredes, las microrredes pueden conectarse directamente a la red principal, pero también pueden aislarse dinámicamente, cuando sea necesario, es decir, desconectarse de la red eléctrica centralizada sin provocar una interrupción del suministro eléctrico a las cargas del sitio que soporta la microrred.

La UE ha abordado la cuestión en un plan de acción específico: Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones *Redes eléctricas, el eslabón perdido — Un plan de acción de la UE para redes eléctricas* (COM/2023/757 final).⁷

- c. **Sistemas de gestión de la energía:** Los sistemas de gestión de la energía (EMS) utilizan tecnologías digitales para optimizar el uso de la energía en edificios, procesos industriales y transporte. Los EMS pueden ayudar a reducir el consumo y los costes de energía y apoyar la integración de fuentes de energía renovables en la red. Esto implica una transformación de consumidores a prosumidores, siendo ahora a la vez consumidores y productores de electricidad. Hay muchas aplicaciones diferentes de EMS (I) HEMS (Home Energy Management System) gestionan de forma inteligente pequeños activos, como un vehículo eléctrico, una bomba de calor, un sistema fotovoltaico (PV) y/o una batería. (II) BEMS (Building Energy Management System) es un método de monitorización y control de las necesidades energéticas de un edificio. Normalmente incorpora la gestión de la calefacción, la ventilación y la refrigeración (HVAC), la iluminación, las medidas de seguridad y, cada vez más, las necesidades de carga de vehículos eléctricos. (III) FEMS (Factory Energy Management System) permite al sector industrial hacer más eficiente la generación y el consumo de energía; o finalmente (IV) CEMS (Sistema de Gestión de Energía Comunitaria) se basa en las aplicaciones anteriores de EMS e integra HEMS, BEMS y/o FEMS para permitir una gestión energética holística e inteligente de comunidades enteras a mayor escala.

Existen diferentes tipos de sistemas de gestión de la energía (EMS): (i) Sistema de gestión de la energía basado en reglas. Un sistema de gestión de la energía basado en reglas se centra en el diseño e implementación de la lógica que rige la distribución de la energía

7. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM%3A2023%3A757%3A-FIN&qid=1701167355682>

entre los DERS conectados. Se basa en reglas establecidas y directrices predefinidas para tomar decisiones en tiempo real sobre la asignación de energía. El enfoque basado en reglas garantiza la estabilidad operativa, lo que lo hace adecuado para escenarios en los que los parámetros de decisión sencillos pueden lograr una gestión de la energía eficaz; (ii) Sistema de gestión de la energía basado en pronósticos. Un sistema de gestión de la energía basado en pronósticos, por otro lado, se especializa en la elaboración de estrategias de optimización avanzadas para escenarios complejos de gestión de la energía que los EMS basados en reglas no pueden abordar. Este sistema tiene como objetivo mejorar la rentabilidad, la eficiencia computacional y la seguridad en un panorama energético cambiante. Al analizar varias estrategias de pronóstico, considerando factores como los tipos de modelos, la disponibilidad de datos y la frecuencia de optimización, este enfoque ayuda a los prosumidores a tomar decisiones informadas sobre el uso y la producción de energía. El sistema tiene en cuenta datos en tiempo real, como la producción fotovoltaica en tejados, el estado de la batería y el consumo de carga, junto con información externa como los precios spot de la electricidad o las previsiones meteorológicas. Esto permite al EMS tomar decisiones inteligentes sobre cuándo cargar o descargar una batería, cuándo utilizar energía solar generada localmente o extraer energía de la red, y cómo optimizar constantemente las estrategias de gestión energética para dar cabida a las tres D de la nueva era energética: digitalización, descarbonización y descentralización; (iii) Sistema de gestión energética basado en la nube. Un EMS basado en la nube es una solución de *software* de gestión energética de vanguardia que revoluciona la gestión energética para empresas de servicios públicos, consultores energéticos y empresas de diversas industrias. Aprovechando el poder de la computación en la nube, este sistema permite el acceso remoto a datos y herramientas esenciales relacionados con la energía, eliminando las limitaciones geográficas. Abarca un conjunto completo de funciones, que incluyen la recopilación de datos de medidores y sensores de energía, almacenamiento seguro basado en la nube, análisis avanzados e informes en tiempo real. Además, otorga a los administradores y consultores de energía la capacidad de monitorear de forma remota los parámetros energéticos, optimizar el consumo y garantizar el cumplimiento de las regulaciones y estándares energéticos. Al promover la colaboración y la accesibilidad,

fomenta la transparencia y la eficiencia en las prácticas de gestión energética⁸.

- d. Plantas de Generación Virtual (Virtual Power Plants (VPP)): Las VPP son conjuntos distribuidos de unidades de generación de energía, como los activos DER, o una agregación de consumidores de energía flexibles listos para proporcionar reducciones de carga estratégicas cuando sea necesario.

Las VPP pueden considerarse como una planta de energía distribuida basada en la nube, que reúne DER heterogéneos para mejorar la generación de energía, así como para comercializarla en el mercado eléctrico. Para hacer que el sistema sea más eficiente y fiable tanto para las instalaciones de distribución como para los usuarios, se emplean sistemas de almacenamiento de baterías, junto con paneles solares tradicionales, turbinas eólicas y otras plantas de energía. Estas unidades están interconectadas y su energía producida se distribuye de forma inteligente a través de un operador central, con el objetivo de equilibrar la carga entre la generación de energía y el consumo energético de los sistemas conectados a la red.

Ambas soluciones son óptimas y ofrecen un nivel similar de fiabilidad y economía para el usuario final, pero cuando se analizan a gran escala, las VPP presentan ciertas características que las sitúan por encima de las microrredes. Estas características son principalmente: (i) la combinación y agregación de recursos de diferentes áreas geográficas y (ii) las pocas restricciones legales a las que se enfrenta esta solución, mientras que las microrredes, por el contrario, no se adaptan tan bien a la legislación actual y podrían enfrentarse a obstáculos que dificulten la regulación y venta de energía⁹.

Todo lo anterior sirve para demostrar cómo la digitalización es ya una realidad en el sector de la energía¹⁰, como sucede en muchos otros. «Los

8. <https://www.gridx.ai/knowledge/what-is-an-energy-management-system>

9. <https://www.incibe.es/en/incibe-cert/blog/virtual-power-plants-el-internet-energia> Posted 16 marzo 2023. Also, Guangchun Ruan, Dawei Qiu, S. Sivaranjani, Ahmed S.A. Awad, Goran Strbac (2024) «Data-driven energy management of virtual power plants: A review» *Advances in Applied Energy*, Volume 14, <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2024.100170>. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792424000088>

10. Glachant, J.M and Rossetto, n. (2018) «The digital world knows at electricity's door: Six building blocks to undertad why» European University Institute RSCAS Policy

vehículos eléctricos, las instalaciones fotovoltaicas, las bombas de calor y muchos otros dispositivos nuevos están ahora equipados con tecnologías inteligentes que generan datos y permiten el control remoto. Se espera que el número de dispositivos IoT activos en el mundo crezca rápidamente y supere los 25 400 millones en 2030. El 51 % de todos los hogares y pymes de la UE están equipados con medidores de electricidad inteligentes. Las políticas digitales y energéticas de la UE ya guían la digitalización de la energía, ya que cuestiones como la interoperabilidad de datos, la seguridad del suministro y la ciberseguridad, la privacidad y la protección del consumidor no pueden dejarse solo en manos del mercado y su correcta implementación es clave»¹¹.

Además, el Pacto Verde y la Agenda Digital deben ir de la mano como una transición conjunta. «La digitalización desempeña un papel crucial, no solo en el aumento de la eficiencia del sistema energético, sino también en la reconceptualización de la transición verde, al tiempo que plantea nuevas e interesantes cuestiones económicas y políticas y compensaciones. El sector eléctrico se sitúa en el centro de la transición a la energía limpia con tecnologías y opciones como los sistemas de almacenamiento de energía, la calefacción, la refrigeración y la flexibilidad y respuesta a la demanda que aprovechan las tecnologías digitales para aumentar significativamente la resiliencia y la flexibilidad del sistema (AIE, 2021). Al mismo tiempo, se espera que el consumo de electricidad aumente hasta un 60% para 2030»¹².

Pero lo que para un jurista es aún más impresionante es que los cambios afectan a las técnicas regulatorias, transformando los últimos medidores de las redes de distribución en el principal elemento (cadena de valor inversa). El proceso de digitalización obligará a los operadores de electricidad a evolucionar hacia arquitecturas orientadas a servicios y a ir más allá en los actuales ecosistemas de computación en la nube. Con el auge de la economía de plataformas, los datos personales se convertirán en un bien valioso y, en consecuencia, los operadores de electricidad se verán obligados a realizar

Brief 2018/16. Available at <https://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/59044/QM-AX-18-016-EN-N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- 11.. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. DIGITALISING THE ENERGY SYSTEM — EU ACTION PLAN. Strasbourg, 18.10.2022 COM (2022) 552 final.
- 12.. Llorca, M., Soroush, G., Giovannetti, E., Jamasb, T., & Davi-Arderius, D. (2024). «Energy Sector Digitalisation, Green Transition and Regulatory Trade-offs.» Copenhagen Business School, CBS, p. 2.

grandes inversiones en capacidades de monitoreo y control.¹³ Y, de nuevo, nótese como la cadena de valor del sector se traslada de la etapa de generación y distribución a la fase final del consumo.

«En octubre de 2022, la Comisión Europea puso en marcha el Plan de Acción para la Digitalización de la Energía en el marco del Pacto Verde Europeo y del Plan REPower de la UE. Este plan de acción considera que la digitalización desempeña un papel fundamental en la transformación del sistema eléctrico y ayuda a los consumidores a ahorrar en sus facturas. Este plan incluye edificios inteligentes, contadores inteligentes y vehículos eléctricos (VE), Internet de las cosas (IdC) y otros dispositivos para proporcionar información clave para monitorizar el consumo energético, impulsar el intercambio de datos, aumentar la integración de las energías renovables y reducir los costes para los consumidores. Además, la Comisión considera que los servicios de datos, las aplicaciones y los sistemas de gestión energética innovadores tienen un gran potencial (todavía) sin explotar para los usuarios de energía, pero necesitan un mayor impulso y medidas adecuadas de apoyo político para convertirse en omnipresentes. De hecho, la necesidad de descarbonizar el sistema eléctrico y conectar grandes cantidades de energías renovables a la red en un corto período de tiempo requiere la búsqueda de soluciones digitales innovadoras para anticipar y, posiblemente, resolver las necesidades técnicas y operativas futuras. Al mismo tiempo, los consumidores deben estar capacitados para tomar sus decisiones en función de la nueva información de la que dispongan.

Todas estas posibilidades y cambios derivados de la digitalización del sistema energético (con el sistema eléctrico como núcleo) exigen abordar nuevos retos técnicos y regulatorios. En primer lugar, los operadores de la red deben contar con incentivos económicos eficientes en sus marcos regulatorios para adoptar, implementar y optimizar soluciones digitales. En segundo lugar, se deben garantizar los derechos de los consumidores,

13.. «La tecnología está en una posición única para respaldar el crecimiento simultáneo de las redes inteligentes y las enormes cantidades de datos que generan. Los contadores inteligentes producen y envían miles de veces más puntos de datos a las empresas de servicios públicos que sus predecesores analógicos. Los nuevos dispositivos para monitorear los flujos de energía de la red canalizan más de un orden de magnitud más datos a los operadores que las tecnologías que están reemplazando. Y se estima que la flota mundial de turbinas eólicas produce más de 400 mil millones de puntos de datos por año. Este volumen es la razón clave por la que las empresas de energía ven la IA como un recurso cada vez más crítico» Rozite, V. Miller, J. and Sungjin, O. (2023) «*Why IA and energy are the new power couple*» IEA. Disponible en <https://www.iea.org/commentaries/why-ai-and-energy-are-the-new-power-couple>

especialmente aquellos relacionados con la privacidad de los datos y el acceso a la información, mientras que los consumidores también deben obtener beneficios económicos individuales de la adopción de herramientas de digitalización de puntos finales, como los medidores inteligentes, de modo que sus incentivos estén alineados con los de los proveedores y con el objetivo colectivo de descarbonización. En tercer lugar, la interoperabilidad y la conectividad deben promover el intercambio fluido de datos entre diferentes actores para promover nuevas actividades y aumentar la competencia en el mercado. Estas reglas de interoperabilidad deberían ir más allá de los aspectos técnicos y estandarizar las funciones y responsabilidades de todos los agentes involucrados en los Estados miembros europeos¹⁴.

No hay duda de la necesidad de aprovechar el enorme potencial de las tecnologías digitales y acelerar la digitalización del sistema energético. Esta nueva revolución conlleva también algunos importantes desafíos: respetar la privacidad y la protección de datos y garantizar las inversiones necesarias para la nueva red y sus dispositivos.

A medida que nuestro sistema energético se descarboniza y descentraliza más, su digitalización debe seguir el mismo camino, adoptando las últimas soluciones tecnológicas. Compartir datos a lo largo de la cadena de valor de la energía y vincularlos con modelos meteorológicos, patrones de movilidad, servicios financieros y sistemas de localización geográfica mediante una capacidad informática cada vez más potente permitirá ofrecer servicios innovadores con nuevos niveles de precisión y adecuación. Los datos deben trasladarse de un lugar a otro, por ejemplo, de un centro de datos a nuestros hogares, o de la batería de un coche al punto de carga y al operador de la red eléctrica. El transporte de dichos datos requiere una red segura y protegida, así como una plataforma para un intercambio fluido entre las diferentes partes implicadas.

2.2. CAMBIOS REGULATORIOS

En definitiva llegamos entonces a la cuestión clave: ¿Cuáles son, los cambios regulatorios que esta nueva realidad conlleva? Estas podrían ser algunas de las cuestiones más relevantes:

14.. Llorca, M., Soroush, G., Giovannetti, E., Jamasb, T., & Davi-Arderius, D. (2024). «Energy Sector Digitalisation, Green Transition and Regulatory Trade-offs.» Copenhagen Business School, CBS. Working Paper / Department of Economics. Copenhagen Business School No. 05-2024CSEI Working Paper No. 03-2024. p. 3.

- a. Datos y privacidad. Con la implantación de los contadores inteligentes y de las tecnologías de monitorización, se recogen grandes cantidades de datos sobre el consumo energético de los usuarios, lo que ha dado lugar a la creación de normativas destinadas a proteger la privacidad de los consumidores. Estas normativas suelen incluir: (i) consentimiento del usuario: los consumidores deben dar su consentimiento para que se recopilen y utilicen sus datos. (ii) transparencia: las empresas deben informar a los usuarios sobre cómo se utilizan sus datos y con qué finalidad. (iii) seguridad de los datos: se establecen requisitos para proteger la información personal y evitar fugas o accesos no autorizados. Facilitar el intercambio de datos (basándose en normas claras sobre quién puede acceder a ellos, cuándo y cómo) será un elemento fundamental para un espacio europeo común de datos energéticos, que mejorará el intercambio y el uso de datos en el sector energético en beneficio de los múltiples actores del sistema energético, como proveedores, operadores de infraestructuras, proveedores de sistemas energéticos y consumidores.
- b. Interoperatividad. Se necesita desarrollar estándares para garantizar que las diferentes tecnologías y sistemas puedan comunicarse entre sí, lo cual es esencial para la eficiencia del conjunto del mercado. «La integración y coordinación de varios recursos energéticos y dispositivos de uso final requiere que su diseño utilice estándares comunes y sea interoperable. La estandarización es el proceso de proporcionar una base compartida para que varias partes interesadas se comuniquen y compartan datos. En otras palabras, la estandarización establece las bases para la interoperabilidad. Desde un punto de vista técnico, la interoperabilidad de datos es uno de los componentes de los bloques de construcción de la tecnología en los espacios de datos. En este contexto, lograr la interoperabilidad total requiere la adopción de estándares comunes en forma de modelos de datos compatibles y formatos de datos para fines de intercambio de datos, a través de interfaces de programación de aplicaciones (API). La interoperabilidad también requiere que los datos sean rastreables y rastreables desde su origen hasta su punto de uso final. Dado el papel fundamental de la interoperabilidad, una encuesta realizada por la Comisión europea en 2018 la enumera como la principal barrera técnica para el intercambio de datos. “De hecho, la falta de interoperabilidad actúa como una barrera de entrada, ya que impide el intercambio fluido de datos entre diferentes partes inte-

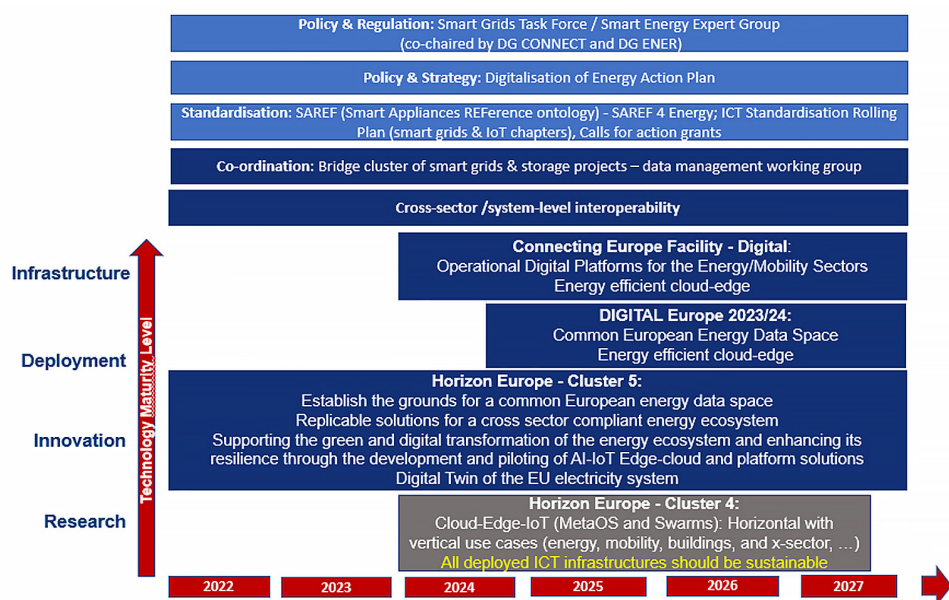
resadas y la creación de soluciones innovadoras basadas en datos. La asimetría de la información es otra consecuencia de la falta de interoperabilidad. Los datos críticos son propiedad y uso exclusivo de ciertas partes interesadas, y la competencia, como resultado de la información asimétrica, se ve obstaculizada. Por lo tanto, también desde una perspectiva económica, la interoperabilidad es importante para promover la libre entrada y la consiguiente eficiencia dinámica, y las políticas centradas en la interfaz de los mercados energéticos y digitales deberían promover y facilitar la interoperabilidad siempre que sea posible. Para ello, es esencial establecer estándares, protocolos, modelos de información y formatos de datos comunes”¹⁵.

- c. Regulación de las plataformas digitales. Los operadores de red son las empresas que mejor pueden acceder a los datos de consumos y de utilización / capacidad de la red. Como la disponibilidad de datos es un tema clave en los nuevos mercados, se abre la cuestión de la participación de los gigantes tecnológicos en los mercados eléctricos. A medida que surgen nuevas plataformas de compraventa de energía, se crean marcos regulatorios para supervisar su funcionamiento y garantizar la transparencia. Hasta ahora, la energía se generaba en enormes centrales eléctricas totalmente aisladas de la población, debido a la contaminación que producen, pero con las energías renovables surge la idea de la microgeneración energética, mediante la cual se distribuyen microcentrales eléctricas en múltiples ubicaciones (paneles solares en el tejado de un edificio, por ejemplo) y se conectan virtualmente. Sin embargo, ya han surgido soluciones que podrían acabar con estos problemas y, de aplicarse correctamente, marcarían el inicio de la transición energética. Este concepto, como hemos visto, se conoce como Recursos Energéticos Distribuidos (DER) y es la base de las dos principales soluciones que más están en boga para el futuro: Microrredes y Centrales Eléctricas Virtuales.
- d. Inversiones. Las redes son normalmente activos regulados y las inversiones las pagan todos los consumidores a través de las tarifas de la red. La Comisión considera que se requerirán 584 000 millones

15.. Llorca, M., Soroush, G., Giovannetti, E., Jamasb, T., & Davi-Arderius, D. (2024). «Energy Sector Digitalisation, Green Transition and Regulatory Trade-offs.» Copenhagen Business School, CBS. Working Paper / Department of Economics. Copenhagen Business School No. 05-2024CSEI Working Paper No. 03-2024. p. 9.

de euros de inversión en redes eléctricas entre 2020 y 2023, donde las inversiones en digitalización y monitoreo de la red en tiempo real son relevantes. Dada la larga vida útil de los activos de la red, pueden producirse reducciones significativas de costes en el futuro si las inversiones de hoy se realizan ya teniendo en cuenta las necesidades futuras. Las inversiones anticipadas pueden ser especialmente relevantes, por ejemplo, para invertir en redes marinas que permitan futuras expansiones de redes marinas en malla; para áreas con un alto potencial fotovoltaico terrestre sin explotar, como las áreas de aceleración de energías renovables establecidas de acuerdo con la RED; o para construir redes inteligentes que respalden los planes nacionales de infraestructura de carga de vehículos eléctricos o los planes municipales para la implementación de bombas de calor.

De nuevo, en expresión gráfica, resulta que:



Source: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/digitalisation-energy>

Cada vez en mayor medida, la operación del mercado eléctrico dependerá de normas “accesorias” al propio sector. En otras palabras, la regulación eléctrica vendrá en el futuro fuertemente condicionada por la normativa sobre regulación de datos: Reglamento (UE) 2022/868 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2022 relativo a la gobernanza europea de datos; Reglamento (UE) 2022/1925 del Parlamento europeo y del Consejo

de 14 de septiembre de 2022 sobre mercados disputables¹⁶ y equitativos en el sector digital; Directiva (UE) 2019/1024 del Parlamento europeo y del Consejo, de 20 de junio de 2019 relativa a los datos abiertos y la reutilización de la información del sector público.

En apretada conclusión, la revolución digital comporta una configuración descentralizada del conjunto del mercado eléctrico con abandono de la tradicional cadena de valor vertical (generación, transporte, distribución, consumo). Al mismo tiempo, se observa la aparición de consumidores activos que son a la vez consumidores y productores (prosumidores) y, finalmente, el activo principal para las empresas operadoras pasará a ser la disponibilidad y tratamiento avanzado de datos.

3. NUEVA REGULACIÓN PARA UNA NUEVA REALIDAD. EL REGLAMENTO (EU) 2024/1747 DE 13 DE JUNIO, Y DIRECTIVA (EU) 2024/1711 DE 13 DE JUNIO

El DOUE del 26 de junio de 2024 publica la más reciente reforma de la regulación del mercado eléctrico. El texto, como es habitual de notable complejidad y extensión, introduce algunas novedades que intentamos agrupar con la reproducción del texto de sus considerados expresivos de la intención del legislador europeo en un esfuerzo por acompañar la regulación con el proceso de digitalización.

3.1. ADAPTACIÓN DE LOS MERCADOS INTRADÍA A LA IRRUPCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

“El buen funcionamiento y la eficiencia de los mercados a corto plazo son clave para la integración de la energía renovable y las fuentes de flexibilidad en el mercado de la electricidad, y permiten la integración del sistema energético de forma eficiente en términos de costes.

Los mercados intradiarios son especialmente importantes para la integración de fuentes de energía renovables variables en el sistema eléctrico al coste más bajo, ya que ofrecen a los participantes en el mercado la posibilidad de negociar con la escasez o el excedente de electricidad más cerca del momento del suministro. Dado que los generadores de energía renovable variable solo pueden estimar con precisión su producción cerca del momento del sumi-

16.. Pese a que el término «disputable» es el que debe ser usado por constituir la traducción en la versión oficial de la norma, sería más gráfico y acertado traducir el término «contestable markets» del inglés como «mercados abiertos» en lengua castellana.

nistro, es fundamental que maximicen las oportunidades de transacción a través del acceso a un mercado líquido lo más cerca posible del momento de suministro de la electricidad. Por consiguiente, la hora de cierre del mercado interzonal intradiario debe acortarse y fijarse más cerca del tiempo real con el fin de maximizar las oportunidades de los participantes en el mercado de negociar con la escasez y el excedente de electricidad y contribuir a una mejor integración de las fuentes de energía renovable variable en el sistema eléctrico. Cuando ese cambio genere riesgos para la seguridad del suministro y con el fin de propiciar una transición eficiente en términos de costes hacia una hora de cierre interzonal más corta, los gestores de redes de transporte deben poder solicitar una excepción, sobre la base de una evaluación de impacto y previa aprobación de la autoridad reguladora correspondiente, a fin de obtener una ampliación del calendario de aplicación. Dicha solicitud debe incluir un plan de acción con medidas concretas para aplicar la nueva hora de cierre del mercado interzonal intradiario.

Por lo tanto, es importante que los mercados intradiarios se adapten a la participación de las tecnologías de energías renovables variables, como la energía solar y la eólica, así como a la participación de la respuesta de la demanda y el almacenamiento de energía. La liquidez de los mercados intradiarios debe mejorarse con el reparto de las carteras de pedidos entre los operadores del mercado de una zona de oferta, incluso cuando las capacidades interzonales se fijen en cero o después de la hora de cierre del mercado intradiario. Con el fin de garantizar que las carteras de pedidos se compartan entre los operadores designados para el mercado de la electricidad (NEMO, por sus siglas en inglés) en los horizontes temporales de acoplamiento de los mercados diario e intradiario, dichos NEMO deben presentar todos los pedidos de productos diarios e intradiarios, y de productos que presenten las mismas características, al acoplamiento único diario e intradiario y no deben organizar la negociación de los productos diarios ni intradiarios, ni de productos que presenten las mismas características, al margen del acoplamiento único diario e intradiario. Para hacer frente al riesgo inherente de discriminación en la negociación de productos diarios e intradiarios dentro y fuera del acoplamiento único diario e intradiario, así como a la consiguiente pérdida de liquidez en los mercados de electricidad acoplados de la Unión, esa obligación debe aplicarse a los NEMO, a las empresas que ejerzan control directa o indirectamente sobre un NEMO y a las empresas que estén controladas directa o indirectamente por un NEMO. Para mejorar la transparencia de los mercados, sus participantes deben proporcionar, cuando proceda, información por unidades de generación, sin perjuicio de presentar ofertas con arreglo al marco pertinente en cada Estado miembro. Además, los mer-

cados de la electricidad a corto plazo deben garantizar que los proveedores de servicios de flexibilidad a pequeña escala puedan participar, reduciendo el tamaño mínimo de la oferta.” (Cdos 13 a 16).

3.2. CREACIÓN DE MECANISMOS DE APLANAMIENTO DE LA VARIABILIDAD DEL CONSUMO

“Con el objetivo de garantizar la integración eficiente de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables variables y reducir la necesidad de generar electricidad a partir de combustibles fósiles en situaciones de crisis de precios de la electricidad a escala regional o de la Unión, los Estados miembros deben poder pedir a los gestores de redes que propongan la adquisición de productos de aplanamiento de picos de consumo que permita una respuesta adicional de la demanda con el fin de contribuir a la disminución del consumo en el sistema eléctrico. La propuesta de un producto de aplanamiento de picos de consumo debe ser evaluada por la autoridad reguladora de que se trate con respecto al logro de una reducción de la demanda de electricidad y a las repercusiones en el precio de la electricidad al por mayor durante las horas punta. Dado que el producto de aplanamiento de picos de consumo tiene por objetivo reducir y desplazar el consumo de electricidad y con el fin de evitar el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, la activación de dicho producto de aplanamiento de picos de consumo no debe implicar el inicio de generación de energía a partir de combustibles fósiles detrás del contador. Teniendo en cuenta que el producto de aplanamiento de picos de consumo está destinado a aplicarse solo en situaciones limitadas de crisis de precios de la electricidad a escala regional o de la Unión, su adquisición podrá realizarse hasta una semana antes de la puesta a disposición de capacidades adicionales de respuesta de la demanda. Los gestores de redes de transporte deben poder activar el producto de aplanamiento de picos de consumo antes del horizonte temporal del mercado diario o en el transcurso de este. Como alternativa, debe poder activarse automáticamente el producto de aplanamiento de picos de consumo sobre la base de un precio de la electricidad predeterminado. Con el fin de comprobar los volúmenes de reducción del consumo de electricidad, el gestor de la red debe utilizar una base de referencia que refleje el consumo de electricidad previsto sin la activación del producto de aplanamiento de picos de consumo y desarrollar una metodología de referencia, previa consulta de los participantes en el mercado. Dicha metodología debe ser aprobada por la autoridad reguladora de que se trate. La ACER debe evaluar la repercusión del uso de productos de aplanamiento de picos de

consumo en el mercado de la electricidad de la Unión, teniendo en cuenta la necesidad de que dichos productos no distorsionen indebidamente el funcionamiento de los mercados de la electricidad ni provoquen una reorientación de la respuesta de la demanda hacia productos de este tipo, y debe poder formular recomendaciones a las autoridades reguladoras para que las tengan en cuenta en su evaluación a escala nacional. Además, la ACER debe evaluar la repercusión del desarrollo de productos de aplanamiento de picos de consumo en el mercado de la electricidad de la Unión en circunstancias normales. Basándose en dicha evaluación, la Comisión debe poder presentar, cuando proceda, una propuesta legislativa de modificación del Reglamento (UE) 2019/943 con el fin de introducir productos de aplanamiento de picos de consumo al margen de situaciones de crisis de precios de la electricidad.” (Cdo 17).

3.3. BASE JURÍDICA PARA EL TRATAMIENTO DE DATOS

Se establece una base jurídica para el tratamiento de datos personales de conformidad con el Reglamento (UE) 2016/679. Los Estados miembros deben velar por que se cumplan todos los principios y obligaciones relacionados con el tratamiento de datos personales establecidos en el Reglamento (UE) 2016/679, también en lo relativo a la minimización de datos. Cuando el objetivo del presente Reglamento pueda alcanzarse sin el tratamiento de datos personales, los responsables del tratamiento de datos deben basarse en datos anonimizados y agregados.

3.4. MERCADOS A PLAZO (POWER PURCHASE AGREEMENTS (PPA) O, EN CASTELLANO, CONTRATOS DE COMPRA DE ENERGÍA (CCE)

Según los considerandos del Reglamento, “Los CCE son acuerdos bilaterales de compraventa entre productores y compradores de electricidad, celebrados de forma voluntaria y basados en las condiciones de precio del mercado sin intervenciones reguladoras en el establecimiento de los precios. Los CCE proporcionan estabilidad de precios a largo plazo para el cliente y la seguridad necesaria para que el productor tome la decisión de inversión. No obstante, solo unos pocos Estados miembros tienen mercados activos de CCE y los compradores suelen limitarse a grandes empresas, también porque los CCE se enfrentan a una serie de obstáculos, en particular la dificultad de cubrir el riesgo de impago del comprador en esos acuerdos a largo plazo. Los Estados miembros deben tener en cuenta la necesidad

de crear un mercado dinámico de CCE a la hora de establecer las políticas para alcanzar los objetivos de descarbonización energética establecidos en sus planes nacionales integrados de energía y clima. A la hora de diseñar medidas que afecten directamente a los CCE, los Estados miembros deben respetar las posibles expectativas legítimas y tener en cuenta los efectos de dichas medidas en los CCE existentes y futuros.

De conformidad con la Directiva (UE) 2018/2001, los Estados miembros deben evaluar los obstáculos administrativos y normativos a los CCE de energía renovable a largo plazo, suprimir los obstáculos injustificados y los procedimientos o cargas desproporcionados o discriminatorios y promover la adopción de dichos acuerdos. Además, los Estados miembros deben describir las políticas y medidas para facilitar la utilización de acuerdos de compra de energía renovable en sus planes nacionales integrados de energía y clima. Sin perjuicio de esta obligación de informar sobre el contexto normativo que afecta al mercado de los CCE, los Estados miembros deben garantizar que los instrumentos para reducir los riesgos financieros asociados al incumplimiento por parte del comprador de sus obligaciones de pago a largo plazo en el marco de los CCE sean accesibles a los clientes que se enfrentan a barreras de entrada en el mercado de los CCE y que no se encuentran en dificultades financieras. Los Estados miembros deben poder decidir establecer un sistema de garantía a precios de mercado, si el acceso a las garantías privadas es imposible o insuficiente. Cuando un Estado miembro establezca tal sistema de garantía, debe incluir disposiciones para evitar reducir la liquidez en los mercados de la electricidad, por ejemplo mediante CCE financieros. Los Estados miembros pueden optar por facilitar la agregación de la demanda de CCE de clientes que se enfrentan individualmente a barreras de entrada en el mercado de los CCE, pero que, colectivamente, deben poder plantear una oferta atractiva de CCE a los productores. Los Estados miembros no deben prestar ayudas a los CCE para la compra de electricidad generada a partir de combustibles fósiles. Los Estados miembros deben poder limitarse a apoyar únicamente los sistemas de garantía que respalden la nueva generación de energía renovable, en consonancia con sus políticas de descarbonización, en particular cuando el mercado de los CCE de energía renovable no esté lo suficientemente desarrollado. Si bien el enfoque por defecto debe ser la no discriminación entre consumidores, los Estados miembros pueden optar por orientar esos instrumentos hacia categorías específicas de consumidores, aplicando criterios objetivos y no discriminatorios. En ese marco, los Estados miembros deben garantizar la coordinación adecuada, en particular con las instalaciones proporcionadas a escala de la Unión, por ejemplo por el Banco Europeo de Inversiones (BEI).

Los Estados miembros disponen de varios instrumentos para apoyar el desarrollo de los mercados de CCE a la hora de diseñar y asignar la ayuda pública. Permitir que los promotores de proyectos de energía renovable que participen en una licitación de ayuda pública reserven una parte de la generación para venderla a través de un CCE contribuiría a fomentar y aumentar los mercados de CCE. Además, como parte de la evaluación de esas licitaciones, los Estados miembros deben esforzarse por aplicar criterios destinados a incentivar el acceso al mercado de los CCE para los agentes que se enfrentan a barreras de entrada, como las pequeñas empresas y las medianas empresas, dando preferencia a los licitadores que presenten un CCE firmado o se comprometan a firmar un CCE para una parte de la generación del proyecto procedente de uno o varios compradores potenciales que tengan dificultades para acceder al mercado de los CCE” (Cdos 28 a 30).

3.5. CONTRATOS BIDIRECCIONALES POR DIFERENCIA

“Cuando los Estados miembros decidan apoyar la inversión financiada con fondos públicos mediante sistemas de apoyo directo a los precios en nuevas instalaciones de generación de electricidad hipocarbónica y no fósil para alcanzar los objetivos de descarbonización de la Unión, estos sistemas deben estructurarse en forma de contratos bidireccionales por diferencias o regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos para que incluyan, además de una garantía de ingresos, una limitación al incremento de ingresos de mercado de los activos de generación de que se trate. Considerando que la obligación en virtud del presente Reglamento debe aplicarse únicamente a las ayudas para la inversión en nuevas instalaciones de generación de electricidad, los Estados miembros deben poder decidir si conceden sistemas de apoyo en forma de contratos bidireccionales por diferencias o de regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos también para las nuevas inversiones destinadas a repotenciar sustancialmente las instalaciones de generación de electricidad ya existentes, a aumentar sustancialmente la capacidad o a prolongar la vida útil de dichas instalaciones.

Para garantizar la seguridad jurídica y la previsibilidad, la obligación de estructurar sistemas de apoyo directo mediante contratos bidireccionales por diferencias o regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos debe aplicarse únicamente a los contratos en el marco de los sistemas de apoyo directo a los precios para inversiones en nuevas instalaciones de generación de electricidad celebrados el 17 de julio de 2027 o posteriormente. Este

período transitorio debe ser de cinco años para los activos marinos híbridos, conectados a dos o más zonas de oferta, debido a la complejidad de dichos proyectos.” (Cdos 35 y 36).

La participación de los participantes en el mercado en los sistemas de apoyo directo a los precios en forma de contratos bidireccionales por diferencias o de regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos debe ser voluntaria.

“Los contratos bidireccionales por diferencias o los regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos garantizarían que los ingresos de los productores procedentes de nuevas inversiones en generación de electricidad que se benefician de la ayuda pública sean más independientes de los precios volátiles de la generación basada en combustibles fósiles, que normalmente fija el precio en el mercado diario.

Deben aplicarse los principios de diseño tal como se establecen en el presente Reglamento en lo que respecta a los sistemas de apoyo directo a los precios en forma de contratos bidireccionales por diferencias o los regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos. En la evaluación de tales contratos bidireccionales por diferencias o regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos con arreglo a las normas sobre ayudas estatales, la Comisión debe verificar si dichos contratos o sistemas cumplen las disposiciones del Derecho de la Unión que estén intrínsecamente vinculadas a las normas sobre ayudas estatales, como los principios de diseño de los contratos bidireccionales por diferencias establecidos en el presente Reglamento. El diseño de estos contratos bidireccionales por diferencias o regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos debe mantener los incentivos para que la instalación de generación de electricidad opere y participe de manera eficiente en los mercados de la electricidad y, en particular, para reflejar las circunstancias del mercado. La Comisión debe garantizar en su evaluación que el diseño de contratos bidireccionales por diferencias o regímenes equivalentes que surtan los mismos efectos no dé lugar a distorsiones injustificadas de la competencia y el comercio en el mercado interior.” (Cdos 40 y 41).

3.6. CONSUMIDORES ACTIVOS

“El consumo de energía compartida puede crear resiliencia frente a los efectos de los precios elevados y volátiles del mercado mayorista en las facturas de energía de los consumidores, empodera a un grupo más amplio de

consumidores (como los clientes vulnerables y los clientes afectados por la pobreza energética) que de otro modo no tendrían la opción de convertirse en clientes activos debido a limitaciones financieras o espaciales, y conduce a una mayor utilización de las energías renovables gracias a la movilización de inversión adicional de capital privado y la diversificación de las vías de remuneración. Con la integración de señales de precios e instalaciones de almacenamiento adecuadas, el consumo de electricidad compartida puede contribuir a sentar las bases para que se explote el potencial de flexibilidad de los pequeños consumidores. Las disposiciones sobre consumo de energía compartida establecidas en la presente Directiva complementan las relativas al autoconsumo establecidas en el artículo 21 de la Directiva (UE) 2018/2001 y en el artículo 15 de la Directiva (UE) 2019/944, en particular con respecto al autoconsumo colectivo.

Los clientes activos que posean, arrienden o alquilen una instalación de almacenamiento o generación de energía deben tener derecho a compartir el exceso de producción, de forma remunerada o gratuita, y empoderar a otros consumidores para que se conviertan en clientes activos, o a compartir la energía renovable generada o almacenada en instalaciones que posean, arrienden o alquilen colectivamente, hasta una capacidad de 6 MW, ya sea directamente o a través de un organizador externo. En el caso de los clientes que participan en sistemas de consumo de energía compartida que sean mayores que las pequeñas y medianas empresas, el tamaño de la capacidad instalada de la instalación de generación asociada al sistema de consumo de energía compartida debe ser de un máximo de 6 MW y el consumo de energía compartida debe tener lugar dentro de una zona geográfica local o limitada, definida por los Estados miembros. Cualquier pago por compartir el exceso de producción de forma remunerada puede ser liquidado directamente entre clientes activos o puede ser automatizado a través de una plataforma de comercio entre pares. El mecanismo de consumo de energía compartida debe basarse en un acuerdo contractual privado entre clientes activos u organizarse a través de una entidad jurídica. Una entidad jurídica que incorpore los criterios de una comunidad de energías renovables tal como se define esta en el artículo 2, punto 16, de la Directiva (UE) 2018/2001 o una comunidad ciudadana de energía tal como se define en el artículo 2, punto 11, de la Directiva (UE) 2019/944, puede compartir con sus miembros la electricidad generada a partir de instalaciones de las que sean plenos propietarios. El marco de protección y capacitación para el consumo de energía compartida debe prestar especial atención a los clientes vulnerables y los clientes afectados por la pobreza energética.

El consumo de energía compartida permite el consumo colectivo de electricidad autogenerada o almacenada inyectada a la red pública por varios clientes activos que actúan colectivamente. Los Estados miembros deben instalar la infraestructura informática adecuada para que pueda realizarse una correspondencia administrativa, dentro de un horizonte temporal determinado, del consumo total registrado de los clientes con la energía renovable autogenerada o almacenada, la cual se deduce del consumo total a efectos del cálculo del componente energético de la factura de energía emitida por el suministrador y, por tanto, reduce la factura del cliente. La producción de estas instalaciones debe distribuirse entre los perfiles de carga de los consumidores agregados sobre la base de métodos de cálculo estáticos, variables o dinámicos que puedan estar predefinidos o ser acordados por los clientes activos. Los clientes activos que participan en el consumo de energía compartida son responsables desde el punto de vista financiero de los desequilibrios que causan, sin perjuicio de la posibilidad de que los clientes activos deleguen sus responsabilidades de balance en otros participantes en el mercado. Todos los derechos y obligaciones de los consumidores establecidos en la Directiva (UE) 2019/944 se aplican a los clientes finales que participan en sistemas de consumo de energía compartida. No obstante, no se debe exigir a los hogares con una capacidad instalada de hasta 10,8 kW en el caso de los hogares individuales, y de hasta 50 kW en el caso de los bloques de apartamentos, que cumplan las obligaciones de los suministradores. Los Estados miembros deben poder ajustar dichos umbrales para reflejar las circunstancias nacionales, hasta 30 kW para los hogares individuales y entre 40 kW y 100 kW para los bloques de apartamentos.” (Cdos 22 a 24 Directiva 2024/1711).

CONCLUSIONES

Como conclusión valorativa, cabe decir que la transformación del mercado eléctrico producto de la digitalización, impulsada por la IA y otras tecnologías emergentes, es parte de una transformación profunda y multifacética del sector. Este desarrollo afecta a la manera en que se genera, distribuye y consume la electricidad, y conlleva una redefinición de las estructuras regulatorias y operativas existentes.

La liberalización del mercado eléctrico en los años noventa fue un elemento esencial para la entrada de nuevos actores, lo que permitió grandes avances en términos de eficiencia e innovación. Ahora, la digitalización ha permitido un nuevo salto en la gestión del mercado eléctrico, en tanto que

ha fomentado la introducción de nuevas tecnologías (como, por ejemplo, los contadores inteligentes, el Internet de las Cosas (IoT) y los sistemas de gestión de energía), las cuales optimizan la producción, distribución y consumo de energía al permitir una mayor eficiencia en la casación entre generación y necesidades de consumo (*supply-demand match*).

Si bien estos avances tecnológicos presentan grandes oportunidades, no están exentos de riesgos. En términos de oportunidades, podemos destacar una mayor integración de fuentes de energía renovables, una mejora de la eficiencia energética y un mayor protagonismo de los consumidores (ahora prosumidores). A su vez, suponen nuevos retos regulatorios, en términos de protección de datos, interoperabilidad y ciberseguridad, entre otros aspectos. El Reglamento (UE) 2024/1747 y la Directiva (UE) 2024/1711, han recogido algunos de estos retos en aras de adaptar el marco regulatorio de 2019 a esta nueva realidad digital, promoviendo una digitalización del sector energético segura, eficiente y equitativa. No parece demasiado arriesgado aventurar que el nuevo mercado requerirá de una nueva regulación que se encuentra todavía en construcción. El éxito de la digitalización del mercado eléctrico europeo, exige también una evolución ágil y actualizada de las políticas y normas.

REFERENCIAS

- Chaves Ávila, J. P.; Cossent Arín, R.; Gómez San Román, T.; Linares Llamas, P.; Rivier Abbad, M. L. (2023), An assessment of the European electricity market reform options and a pragmatic proposal, Instituto de Investigación Tecnológica, Comillas-ICAI. Repositorio www.comillas.edu
- Glachant, J.—M.; Rossetto, N. (2018), “The Digital World Knocks at Electricity’s Door: Six Building Blocks to Undertad Why”, European University Institute, RSCAS Policy Brief 2018/16. Disponible en: <https://cadmus.eui.eu/bitstream/handle/1814/59044/QM-AX-18-016-EN-N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Heussaff, C.; Zachmann, G. (2024), “The changing dynamics of European electricity markets and the supply-demand mismatch risk”, Bruegel Policy Brief, n.º 14/2024.
- Llorca, M.; Soroush, G.; Giovannetti, E.; Jamasb, T.; Davi-Arderius (2024), “Energy Sector Digitalisation, Green Transition and Regulatory Trade-offs”, Copenhagen Business School, Department of Economics Working Paper, n.º 05-2024; CSEI Working Paper, n.º 03-2024.

- Morales Plaza, A. (2010), *Tratado del sector público estatal*, La Ley, Madrid.
- Percebois, J.; Pommeret, S. (2024), "Reform of the European electricity market: Should we prefer a price based on a weighted average of marginal costs with cross-subsidies?", *The Electricity Journal*, vol. 37, n.º 1. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2023.107364>
- Rajavuori, M.; Huhta, K. (2020), "Digitalization of security in the energy sector: evolution of EU law and policy", *Journal of World Energy Law and Business*. <https://doi.org/10.1093/jwelb/jwaa030>
- Rozite, V.; Miller, J.; Sungjin, O. (2023), "Why IA and energy are the new power couple", *International Energy Agency*. Disponible en: <https://www.iea.org/commentaries/why-ai-and-energy-are-the-new-power-couple>
- Ruan, G.; Qiu, D.; Sivaranjani, S.; Awad, A. S.; Strbac, G. (2024), "Data-driven energy management of virtual power plants: A review", *Advances in Applied Energy*, vol. 14. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666792424000088?via%3Dihub>

El futuro en juego: Cambio Climático, Red Eléctrica y la Gran Carrera hacia la Inteligencia Artificial General

JOAQUÍN DAVID RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ
*Profesor lector de Derecho de la Unión Europea
en la UAB y Secretario de la Cátedra Manuel Ballbé
de Seguridad Humana y Derecho Global.*

SUMARIO: 1. INTRODUCCIÓN. 2. CONTEXTO. 3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL: CONCEPTO, PROMESA Y COSTE ENERGÉTICO. 4. LOS CENTROS DE DATOS Y LOS GPU COMO EJEMPLO RELATIVO A LAS NECESIDADES DE ENERGÍA DE LA IA Y SUS PROYECCIONES FUTURAS. 5. LA RED ELÉCTRICA Y LA CARRERA POR LA ENERGÍA. CONCLUSIONES. REFERENCIAS.

Resumen

El capítulo propone una lectura sistémica de la convergencia entre tres vectores que ya están redefiniendo el siglo XXI: la carrera por la Inteligencia Artificial General (IAG), el cambio climático y la fragilidad estructural de la red eléctrica, por lo que, desde una perspectiva histórico-comparada y geopolítica, muestra cómo las *explosiones tecnológicas* asociadas a ciclos de competencia extrema entre potencias reconfiguran la producción y el almacenamiento de energía, y cómo la actual pugna entre Estados Unidos y China por la IAG replica esa lógica sobre una infraestructura crítica envejecida.

Sobre la base de casos, como el escudo de silicio de Taiwán y la expansión acelerada de centros de datos y escasez energética regional, se cuantifica la presión creciente que impone la IA, en especial los clústeres GPU, en materia de consumo eléctrico, refrigeración y agua, activando una Paradoja de Jevons que tensiona los objetivos de descarbonización y los precios de la electricidad.

El análisis identifica cuellos de botella como la capacidad de red, las subestaciones, los estándares de refrigeración líquida y traza el desplazamiento de

la agenda pública para garantizar la seguridad de suministro y la resiliencia de redes como condición previa para cualquier promesa de la IAG; siendo la conclusión que, sin un salto inversor coordinado en transmisión, distribución y regulación técnico-económica, la IAG mutará de palanca de competitividad a ser un vector de inestabilidad climática y social.

Abstract

The chapter advances a systemic reading of the convergence of three vectors already reshaping the XXI century: the race for Artificial General Intelligence (AGI), climate change, and the structural fragility of the electricity grid. From a historical-comparative and geopolitical perspective, it shows how technological «explosions» associated with cycles of extreme inter-power competition reconfigure energy production and storage, and how the current United States-China contest over AGI reproduces that dynamic upon an ageing piece of critical infrastructure.

Drawing on cases such as Taiwan's silicon shield, the accelerated expansion of data centres, and regional energy scarcity, the analysis quantifies the mounting pressure exerted by AI, especially GPU clusters, on electricity consumption, cooling, and water use, triggering a Jevons Paradox that strains decarbonisation targets and electricity prices.

The study identifies bottlenecks, network capacity, substations, and liquid-cooling standards, and maps the displacement of the public agenda towards guaranteeing security of supply and grid resilience as preconditions for any promise of AGI. Its conclusion is clear: absent a coordinated, step-change investment in transmission, distribution, and techno-economic regulation, AGI will mutate from a lever of competitiveness into a vector of climatic and social instability.

Palabras clave

Red Eléctrica, Inteligencia Artificial, Cambio Climático, Carrera Tecnológica.

Key words

Electricity Grid; Artificial Intelligence; Climate Change; Technological Race.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda los retos y oportunidades que la carrera por la Inteligencia Artificial General (en adelante IAG) entraña para la red eléctrica y los objetivos climáticos, a través de la siguiente estructura: En primer lugar, se presentará el contexto actual entendido como antecedente y consecuencia

de fases de explosión tecnológica analizando los factores claves que nos han llevado al escenario actual así como sus características, ejemplificadas por el caso del escudo de silicio de Taiwán. Esta sección, abordará a su vez las implicaciones que las explosiones tecnológicas tienen sobre la producción y almacenamiento la energía, comprendida como infraestructura básica de la evolución humana. Destacando ejemplos previos como el proyecto *Manhattan* en el contexto de la Segunda Guerra Mundial y el proyecto *Vanguard* de la NASA en el contexto de la Carrera Espacial y Guerra Fría, resaltando sus implicaciones para comprender la actual carrera por la IAG y sus potenciales afectaciones sobre el sistema.

A continuación, se abordará la noción de Inteligencia Artificial e Inteligencia Artificial General a fin de comprender su estado de desarrollo actual y potenciales impactos, así como las promesas que alimentan la carrera tecnológica que se está estructurando a su alrededor. En esta sección introduciremos la relación IA-energía a través del subgrupo que representan los LLM dentro del marco de la IA generativa. Esta sección dará paso a un análisis más profundo de la relación IA y el consumo de energía a través del caso de los Centros de Datos y de una de las piezas clave en el desarrollo futuro de la tecnología, tal y como son los GPU, infraestructura básica sobre la que se asienta la carrera por la Inteligencia Artificial General. Además, se proveerán datos que ilustren la actual tendencia expansiva de los mismos en todas las regiones del planeta.

La siguiente sección explorará los impactos que tendrá tanto el cambio climático como la carrera por la IAG sobre la red eléctrica, destacando eventos actuales relevantes como los apagones que se han sucedido en diferentes regiones del mundo, de Estados Unidos a Kuwait, pasando por México, Ecuador e India, entre otros. En esta sección se prestará especial atención al estado actual de la red eléctrica, su antigüedad y las necesidades de inversión que deben tenerse en cuenta a fin de poder responder a la demanda que las tecnologías emergentes, y especialmente la Inteligencia Artificial, representan para el sistema.

Finalmente, y como paso previo a las conclusiones, se abordarán los riesgos que la carrera por la IAG entraña para los acuerdos climáticos. En esta sección, también se abordarán los posicionamientos de las grandes empresas tecnológicas y líderes de la industria, así como se analizarán las tendencias de naturaleza estatal en relación con las tensiones entre objetivos climáticos y aceleración de la competitividad científico-tecnológica. A continuación, se dará paso a las conclusiones que intentarán extraer las

principales recomendaciones relacionadas con las necesidades de adecuación de las infraestructuras básicas que sostienen tanto la carrera por la IA.

Este trabajo adopta una metodología interdisciplinaria y prospectiva, basada en el análisis crítico de fuentes primarias y secundarias provenientes de campos como la geopolítica, la ingeniería energética, la economía digital y el derecho internacional. A través de un enfoque ecosistémico, se examinan las interrelaciones entre la carrera por la Inteligencia Artificial General (IAG), el cambio climático y la red eléctrica, utilizando estudios de caso emblemáticos —como el escudo de silicio de Taiwán, los apagones globales recientes y la expansión de los centros de datos— para ilustrar las tensiones estructurales emergentes. El artículo se apoya en datos empíricos actualizados, informes técnicos, literatura académica y documentos institucionales, integrando además elementos de análisis histórico-comparativo para contextualizar las dinámicas actuales en relación con ciclos tecnológicos previos.

Asimismo, se emplea una aproximación sistémica que permite identificar patrones de alineamiento estratégico entre actores estatales y corporativos, así como sus implicaciones para la gobernabilidad global y la sostenibilidad ecológica. Esta metodología busca no solo describir los fenómenos en curso, sino también anticipar sus posibles trayectorias y consecuencias, con el objetivo de contribuir a la formulación de estrategias de resiliencia y adecuación infraestructural frente a los desafíos que plantea la convergencia entre tecnología avanzada y crisis climática.

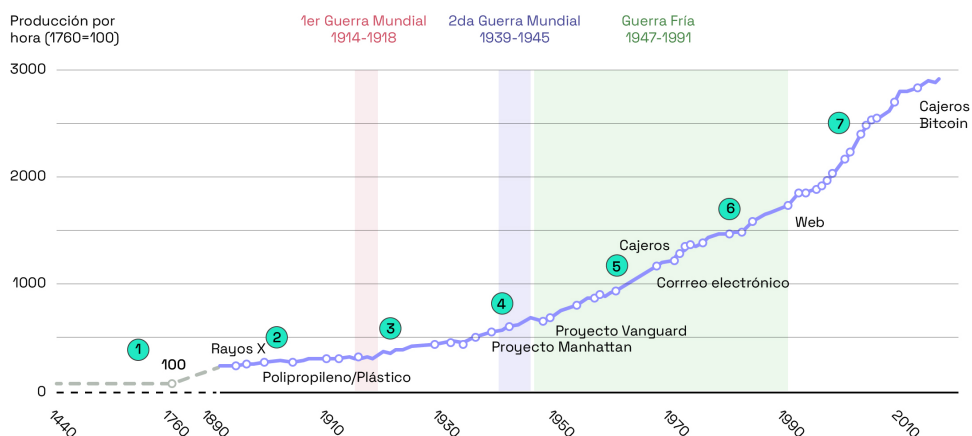
2. CONTEXTO

«La carrera por la IAG ha comenzado. Estamos construyendo máquinas que pueden pensar y razonar. Para el 2025/26, estas máquinas superarán a muchos graduados universitarios. Para fines de la década, serán más inteligentes que tú o yo; tendremos superinteligencia, en el verdadero sentido de la palabra. En el camino, se desatarán fuerzas de seguridad nacional no vistas en medio siglo, y en poco tiempo, El Proyecto estará en marcha. Si tenemos suerte, estaremos en una carrera total con el Partido Comunista de China (PCCh); si tenemos mala suerte, será una guerra total.» (Aschenbrenner, 2024 p 1).

Nuestro presente es el resultado de un ciclo tecnológico acelerado, donde los procesos de competitividad extrema entre Estados que nos preceden, guerras mundiales y la Guerra Fría, han jugado un papel fundamental en la constitución de nuestro sustrato tecnológico. Es decir, nuestra tecnología, entendida como la totalidad de nuestra cultura material (Ellul et al., 1964),

es en gran parte el resultado de avances dirigidos por el Estado a través del complejo industrial-militar (Dunlap, 2011), que han tenido una traslación a ámbitos civiles, donde el GPS o Internet pueden resultar ejemplos paradigmáticos. Y donde la traslación de dichas tecnologías ha tenido, a su vez, ramificaciones profundas, conllevando transformaciones económicas, sociales, políticas, etc., es decir, totales y a escala planetaria, donde el aumento del nivel de productividad resulta clave para comprender la profundidad de dichos cambios, al igual que la degradación ecológica y el cambio climático representarían algunas de las externalidades negativas de estos ciclos tecnológicos y su materialización a escala industrial.

Figura 1: Evolución Tecnológica en la Edad Moderna, relacionada con la tasa de producción por hora, donde 1760 es igual a 100.



Fuente: (WEF, 2018 p3).

1. Antes de 1890:

- 1440: Prensa de impresión de Gutenberg
- 1480: Astrolabio náutico
- 1589: Máquina mecánica de tejer
- 1608: Telescopio
- 1630: Regla de cálculo
- 1765: Máquina de vapor de Watt
- 1790: Máquina de coser

- 1816: Telégrafo
- 1867: Dinamita
- 1879: Bombilla eléctrica

2. 1891-1910:

- 1893: Motor diésel
- 1895: Rayos X
- 1898: Polietileno / Plástico
- 1903: Turbina de gas
- 1909: Transmisión de televisión

3. 1911-1930:

- 1911: Cámara de nubes
- 1915: Tanque de guerra
- 1928: Penicilina

4. 1931-1950:

- 1931: Microscopio electrónico
- 1933: Radio FM
- 1935: Nailon
- 1938: Fisión nuclear
- 1941: Poliéster
- 1947: Fracturamiento hidráulico y Transistor
- 1948: Reloj atómico

5. 1951-1970:

- 1953: Grabadora de cinta de video
- 1956: Inteligencia Artificial (surgimiento de la disciplina)
- 1956: Unidad de disco duro

- 1957: IBM 610 y Sputnik 1
- 1960: Láser
- 1967: Cajero automático (Barclays)
- 1970: Calculadora de bolsillo

6. 1971-1990:

- 1971: Correo electrónico e Intel 4004
- 1972: Magnavox Odyssey
- 1973: Pantalla táctil capacitiva
- 1975: Altair 8800 (Revolución de la microcomputadora y conjunto de protocolos de Internet)
- 1980: Memoria flash
- 1982: CD-ROM
- 1984: Teléfono celular
- 1990: World Wide Web y Telescopio Espacial Hubble

7. 1991-Presente:

- 1992: Mensajería de texto
- 1993: Apple Newton y Mosaic (Navegador web)
- 1995: DVD y Windows 95
- 1996: Puertos USB
- 1997: Netflix
- 1998: Google
- 2000: Bluetooth
- 2001: iPod
- 2003: iTunes Music Store
- 2004: Facebook

- 2005: YouTube
- 2006: Twitter
- 2009: Bitcoin
- 2013: Bitcoin

Así, y si tomamos como referencia los precedentes de la Segunda Guerra mundial 1939-1945, y la Guerra Fría 1947-1991 (Barnes & Farish, 2006; Smith, 2019), observamos que estos procesos de confrontación vinieron a su vez acompañados por importantes avances tecnocientíficos bajo el auspicio del estado (Ichikawa, 2018; Kojevnikov, 2008; Needell, 2013; Pollock, 2006; Wolfe, 2013) con ramificaciones totales sobre la fábrica social de los contendientes, así como importantes impactos económicos y ambientales (Brown, 2011; Siddiqi, 2000; Strategy, 2011) a escala tanto interna como global. A modo de ejemplo podemos mencionar la revolución verde construida sobre la tecnociencia desarrollada durante las Guerras Mundiales.

Esta revolución, sustentada en el uso de fertilizantes sintéticos, pesticidas y maquinaria basados en componentes militares, permitió aumentar la productividad agrícola y lograr incrementar los niveles de seguridad alimentaria. Aunque también trajo desafíos ambientales y sociales que continúan siendo relevantes hoy en día. El caso de la India resulta paradigmático tanto en lo relativo a externalidades positivas, aumento de la producción, como negativas, pudiendo observar procesos de concentración de la tierra, alteración de los modos de subsistencia tradicionales, pérdidas masivas de puestos de trabajo, contaminación e incluso tragedias como la de Bhopal, considerada como uno de los accidentes industriales más devastadores de la historia, dejando 25.000 muertos, más de medio millón de heridos y una larga lista de secuelas, incluyendo malformaciones en fetos (Broughton, 2005; Shiva, 2016). Lo que nos permite ilustrar las externalidades y riesgos que suelen acompañar estos procesos, definidos por el rápido avance y adopción de tecnologías disruptivas que tienen un impacto significativo en la sociedad, la economía y la forma en que vivimos y trabajamos. Y donde los accidentes, tal y como sucedió en el caso de *Chernobyl*, *Three Mile Island*, en el *programa Apollo*, o con el telescopio *Hubble*, etc., no son más que una consecuencia en muchas ocasiones inevitable del propio proceso de aceleración (Parrow, 1984).

Cabe señalar que los procesos de competencia extrema que nos precedieron, Segunda Guerra Mundial y Guerra Fría, ambos produjeron explo-

siones tecnológicas bajo la premisa del alineamiento de sectores estratégicos por parte del Estado, aparejadas a nuevas formas de producir y almacenar energía. En el caso de la Segunda Guerra Mundial, destacaríamos a modo de ejemplo los avances en física y energía nuclear, entre otros, que transformaron industrias enteras. el proyecto Manhattan resultaría paradigmático en relación con el alineamiento estratégico de actores como centros de investigación, universidades, sector industrial y productivo, cuyo impacto sería decisivo no solo para garantizar la victoria en el campo de batalla, sino para sentar las bases del sistema productivo que vendría (Torrens & Castellano, 2019). Por otro lado, durante el período de la Guerra Fría, esta competencia extrema de naturaleza científico-tecnológica tomó la forma de carrera por el dominio del espacio. Una carrera, la espacial, que daría como resultado una nueva explosión tecnológica, que, tal y como pasó en procesos previos, conllevó el surgimiento de una nueva fuente de energía, en este caso la solar, como resultado de los avances del proyecto de satélites americanos *Vanguard*, que recuperarían las células solares como fuente de energía básica para satélites. En 1985, Vanguard 1 fue el primer satélite basado en energía solar (ENEL, 2024).

Tecnologías y técnicas que requerirían, a su vez, reformas profundas del sistema, que a través del derecho intentó contener los riesgos más graves asociados al avance tecnológico. Pudiendo destacar así desde el Tratado de No Proliferación Nuclear, al Tratado Lunar (*Moon Treaty*), pasando por tratados del espacio exterior (*Outer Space Treaties*), el Convenio de Bioética, o el surgimiento de nuevas instituciones como la Agencia Internacional de la Energía Atómica (Suleyman, 2023), etc.

Es decir, nos encontramos ante procesos de competencia que han liberado avances tecnológicos gestados por amplias redes de actores, alineados estratégicamente y coordinados por el Estado, y que, una vez cristalizados socialmente, han configurado los sistemas tecnológicos que definen nuestro tiempo, nuestra sociedad, nuestros marcos legales y regulatorios, y que ahora enfrentarán un salto exponencial y acelerado respecto a las transformaciones precedentes. Unas transformaciones que sirven de sustrato a la revolución que vendrá, definida por un mayor nivel de dominio sobre bits y átomos, donde la biología sintética, la computación cuántica y la Inteligencia Artificial General representan las piedras angulares sobre las que se asentará el tiempo que vendrá (Suleyman, 2023).

Por tanto, podemos afirmar que somos herederos de un tiempo en el que los conflictos definen nuevos paisajes a través de la configuración de

un complejo industrial-militar, donde universidad, centros de investigación, corporaciones, etc., conforman un entramado activo que sustenta al conflicto en sí y cuyas consecuencias son totales sobre el sistema. Unos conflictos que, en ocasiones, pueden no manifestarse a través de hostilidades abiertas, sino que pueden ser contenidos a través de carreras científico-tecnológicas.

Además, tal y como ya mencionamos, el tercer aspecto clave a tener en cuenta para comprender nuestro tiempo es la erosión del orden internacional que cristalizó tras la Guerra Fría. Una arquitectura internacional que había comenzado a gestarse tras la Segunda Guerra Mundial, definida por los vencedores y materializada a través de Naciones Unidas (con especial énfasis en el Consejo de Seguridad) y de las instituciones de Bretton Woods: Banco Mundial y Fondo Monetario Internacional. Una arquitectura internacional que había sido diseñada con el objetivo fundamental de limitar los riesgos de nuevas confrontaciones a través de la generación de profundas redes de interdependencia compleja que aumentarían exponencialmente los costes de ruptura para los actores implicados (Keohane & Nye, 1998), así como influir en el alineamiento de actores para hacer frente a amenazas globales, entre las cuales hoy en día ocupa un lugar preeminente el cambio climático.

Si bien, y pese a las predicciones de intelectuales como Francis Fukuyama, quien en su obra *El Final de la Historia y el Último Hombre* (Hage et al., 2006) afirmaba que el fin de la Guerra Fría significó el punto final de la evolución ideológica humana, con la democracia liberal como la forma final de gobierno. Aunque lo cierto es que no se ha conseguido un equilibrio geopolítico que permita extender la democracia liberal, o que consiga evitar dinámicas de competencia que superen las elasticidades del mercado y el derecho internacional y, por tanto, puedan ser resueltas dentro de los márgenes de su arquitectura. Donde el ejemplo de las sanciones a Irán, o la dificultad para alcanzar acuerdos climáticos realmente eficientes resultarían paradigmáticos para comprender las limitaciones de la arquitectura internacional para alinear intereses y resolver algunos de los problemas más acuciantes a nivel global.

En este sentido, uno de los conflictos más relevantes a la hora de comprender las dinámicas actuales del sistema, delimitadas por la carrera por la IA y las limitaciones climáticas, lo representa el caso de Taiwán. Este pequeño estado isleño, surgido como consecuencia de la Guerra Civil China entre el Kuomintang y el PCCh, ha sido capaz de mantener su independencia

de China a través de la estrategia conocida como el escudo de silicio (*silicon shield*), basada en su posición global como fabricante de semiconductores, uno de los componentes clave para conseguir la IAG (Hung, 2024). Taiwán posee más del 90% de la capacidad mundial de fabricación de chips de última generación y el 60% de la producción global de semiconductores, haciendo que los efectos de una potencial invasión militar de la isla afecten de forma dramática a la cadena de suministros a escala global y tenga una especial incidencia en la carrera por la IAG. Una estrategia que podríamos encuadrar como fruto de la lógica geopolítica imperante durante los años 90 y principios de los 2000, basada en la construcción de interdependencias, la cual hoy en día se debilita, siendo el factor energético clave para comprender dicha erosión (Fulco, 2023; Hung, 2024).

Taiwán tiene una capacidad productiva de energía muy reducida, representando los combustibles fósiles importados el 80% de su consumo, siendo Australia su principal proveedor, suministrando la mitad de su carbón y el 40% de su gas natural licuado (GNL). Esta dependencia energética podría aumentar en los próximos años debido a las estrategias del presidente Lai Ching-te, que tienen por objetivo principal el cumplimiento de los acuerdos climáticos a través de una eliminación gradual de la producción de energía nuclear y la potenciación del desarrollo de tecnologías verdes, resultando en una posible fase de transición que represente mayores vulnerabilidades frente a un posible bloqueo chino. Y donde otros factores, como la reciente eliminación de restricciones de China sobre el carbón y gas australianos, podrían redirigir estos recursos hacia China, Japón y Corea del Sur, lo que podría perjudicar los suministros de Taiwán. Por tanto, Australia podría necesitar intervenir en el mercado para proteger la seguridad energética de Taiwán y mantener un Indo-Pacífico libre y abierto (Wyeth, 2024).

Es necesario tener en cuenta, a este respecto, que la creciente demanda de electricidad, entre otros factores, ha llevado a TSMC (*Taiwan Semiconductor Manufacturing Company*) a expandir su presencia global, anunciando recientemente un acuerdo de 11,600 millones de dólares para construir una fábrica en Arizona, así como otros centros de producción en Europa (Alemania) y Japón. Este movimiento ha generado preocupaciones sobre una posible fuga de cerebros desde Taiwán y la erosión de su ventaja tecnológica (Fulco, 2023). Según las proyecciones de TrendForce, se espera que la participación de Taiwán en el mercado mundial de fabricación de chips avanzados disminuya al 55% para 2027. Mientras tanto, se proyecta que la capacidad de fabricación de chips de China aumente, llegando su

participación en la producción mundial de chips avanzados a alcanzar potencialmente el 39% para 2027. Este cambio hacia la autosuficiencia está siendo reforzado por la estrategia más amplia de Beijing, que busca pasar de ser un centro de manufactura intensivo en mano de obra a una potencia de alta tecnología y, sin duda, puede erosionar de una forma la ventaja estratégica de Taiwán, de la que hasta cierto punto depende su independencia (Hung, 2024).

Así, en el momento actual, nos encontramos en los inicios de una nueva fase de fragmentación y confrontación, que encaja con las dinámicas propias del neomedievalismo (Bull, 2012), desembocando en un ciclo de competencia extrema, en este caso, entre Estados Unidos y China y los bloques de países que cada uno encabeza (Peterson Institute for International Economics, 2024), con el telón de fondo de una nueva «supertecnología»: la Inteligencia Artificial General (en adelante, IAG) (Bostrom, 2005; Russell et al., 2010), que se presenta como el Santo Grial del dominio global durante el próximo siglo y que algunos autores consideran pueda ser una realidad en 2030.

Tal y como reflejó Vladimir Putin, parece extenderse la idea de «*quien lidere la Inteligencia Artificial, gobernará el mundo*» (CNBC, 2017). Una carrera que, como ya pasó en momentos históricos precedentes, viene acompañada por una serie de eventos que, si bien es cierto, no encajan en su totalidad en la definición clásica de conflictos proxy, sí que ponen de manifiesto el nuevo paradigma de confrontación del escenario actual en tanto que conflictos híbridos. Del conflicto de Ucrania a Palestina, a los ciberataques sobre la red eléctrica de numerosos países (Jack, 2023), pasando por la desestabilización de las redes de control postcoloniales establecidas por países como Francia (Irish et al., 2023) o el Reino Unido, o la crisis del fentanilo (Kluth, 2023; Makdoun & Pietrobon, 2024). La nueva dinámica de conflictividad nos muestra que la vieja arquitectura de la posguerra, que ha sido capaz de proveer décadas de paz, parece tambalearse. Mientras tanto, la espada de Damocles climática pende sobre nuestras cabezas.

Así, y más allá de lo cierto o no de las promesas asociadas a la IAG (Griffy-Brown, 2012), la realidad es que la carrera por la misma ha comenzado y las tensiones entre Estados Unidos y China (y sus respectivos aliados) ya han superado los límites del mercado y el derecho internacional, con la materialización de una guerra comercial híbrida, con implicaciones globales sobre la cadena de suministro y el mapa geopolítico, dando forma a un escenario internacional definido por las restricciones impuestas al acceso por parte de

China a tecnologías específicas como los microchips de NVIDIA (Trueman, 2024b), que representan una de las bases para la carrera por la IAG, y por las restricciones a materias primas y productos industriales básicos impuestas por parte de China a Estados Unidos y sus aliados, acompañado por un constante riesgo de escalada.

Cabe recordar que, en 2018, tal y como reconoció Jensen Huang fundador y CEO de NVIDIA, China representaba un tercio del mercado de la compañía, y hoy, parece que las sanciones no han sido completamente efectivas. Ya que China ha sido capaz de establecer estrategias alternativas de suministro, a través de diferentes estrategias como la recuperación de chips de videoconsolas, o explotando brechas en las sanciones como la protagonizada por SMIC (Trueman, 2024a), además de estrategias con implicaciones más profundas como la nueva ruta de la seda (Curtis & Klaus, 2024).

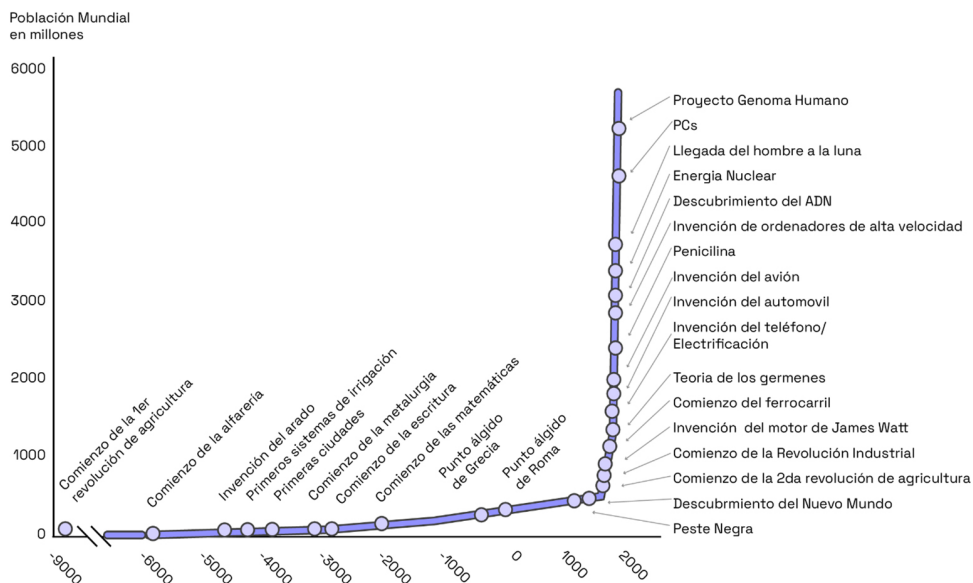
La realidad hoy es que la guerra comercial se encuentra en plena escalada, tal y como afirmaba Pinelopi Koujianou de Yale: *«Estados Unidos y China están ahora en una guerra económica total»*, lo cual tendrá *«profundas consecuencias geopolíticas»*. Los últimos aranceles también suponen una admisión por parte de la administración Biden de que las medidas anteriores no han logrado evitar que China *«avance a pasos agigantados»* y, al dirigirse contra los vehículos eléctricos, *«socavan la agenda más amplia contra el cambio climático»* (Project-Syndicate, 2024).

Estados Unidos ha emitido recientemente reglas preliminares para prohibir o requerir la notificación de inversiones en inteligencia artificial y tecnología en China que puedan amenazar la seguridad nacional. Basadas en una orden ejecutiva de Biden, las normas exigen a individuos y empresas estadounidenses identificar transacciones restringidas. Este enfoque se centra en sectores clave como semiconductores, microelectrónica, computación cuántica e inteligencia artificial. El objetivo principal es evitar que el conocimiento estadounidense contribuya al avance de tecnologías sensibles en China que la puedan conducir al dominio del sistema (Reuters, 2024).

Es, por tanto, importante comprender que los ciclos tecnológicos (Ellul et al., 1964; L. Marx, 1964) en contextos de competencia extrema tienen unas peculiaridades que merecen ser resaltadas, como el alineamiento de sectores estratégicos por parte del Estado a través de diversos mecanismos y el debilitamiento de los acuerdos internacionales, donde la agenda climática, tal y como veremos más adelante, puede resultar en una de las más afectadas.

Finalmente, sería necesario tener en cuenta una premisa importante: toda revolución fundamental en la historia del desarrollo de nuestra especie ha venido aparejada al surgimiento de una nueva fuente de energía que, a su vez, ha dado lugar a explosiones demográficas.

Figura 2: Evolución Tecnológica y crecimiento demográfico.



Fuente: (Kurz et al., 2018).

Desde el control del fuego, robado por Prometeo a los dioses, que nos permitió alzarnos como especie dominante en la noche de los tiempos, hasta la revolución digital, hija de la energía nuclear, todos y cada uno de los grandes procesos de transformación han sido definidos por nuestra capacidad de producir y almacenar energía y han conllevado crecimientos demográficos notables. El Neolítico vino aparejado a la domesticación de los animales y su uso como motor de la agricultura; la revolución industrial, por la energía liberada del carbón y combustibles fósiles; la revolución digital, asociada a la nuclear y las renovables; y, sin lugar a dudas, la revolución que viene tendrá implicaciones profundas sobre nuestros sistemas de producción y almacenamiento de energía. Si bien, quizás por primera vez, no sea posible sostener una mayor población debido a las limitaciones ecológicas y el cambio climático. Una dinámica que viene acelerada, tal y como veremos en próximas secciones, debido precisamente a los requerimientos energéticos de la Inteligencia Artificial.

El presente trabajo, debido a su extensión, no analizará aspectos relativos a las otras tecnologías clave: computación cuántica y biología sintética, aunque sí nos gustaría señalar que ambas entrañan transformaciones fundamentales en relación con la energía, debido a sus a) requerimientos y b) materialización de resultados. Refiriéndonos, por una parte, a sus necesidades relativas a consumo y forma de consumo energético, y por otra parte, a la consecución práctica de algunas líneas prominentes de investigación como hojas artificiales o fotosíntesis artificial, entre otras.

A modo de resumen, podemos afirmar que la década que se avecina viene definida por dos procesos fundamentales: cambio climático y carrera por la Inteligencia Artificial General, enmarcados ambos por un proceso de erosión de la arquitectura internacional. El primero viene precedido por la incapacidad de contener las emisiones de CO₂ y la superación de la mayoría de los límites planetarios (Richardson et al., 2023), y se materializará a través del aumento exponencial de los fenómenos meteorológicos extremos y de una erosión de la biodiversidad a escala global. Un proceso que requerirá de esfuerzos y compromisos mucho más ambiciosos que los actuales a fin de poder contener sus consecuencias más catastróficas (Wolf, 2024). El segundo viene definido por la guerra comercial entre Estados Unidos y China y sus esfuerzos por alcanzar la Inteligencia Artificial General (en adelante, IAG), que, sumada a avances en computación cuántica y biología sintética, desembocará potencialmente en una explosión tecnológica con ramificaciones totales sobre el sistema (Aschenbrenner, 2024; Suleyman, 2023), determinando la gobernabilidad del próximo siglo. Procesos ambos que, tal y como se analizará en próximas secciones, tienen profundas implicaciones sobre el sector energético y la red eléctrica, que se situará en el centro del debate en tanto que clave para la lucha contra el cambio climático, así como por la carrera por la IAG.

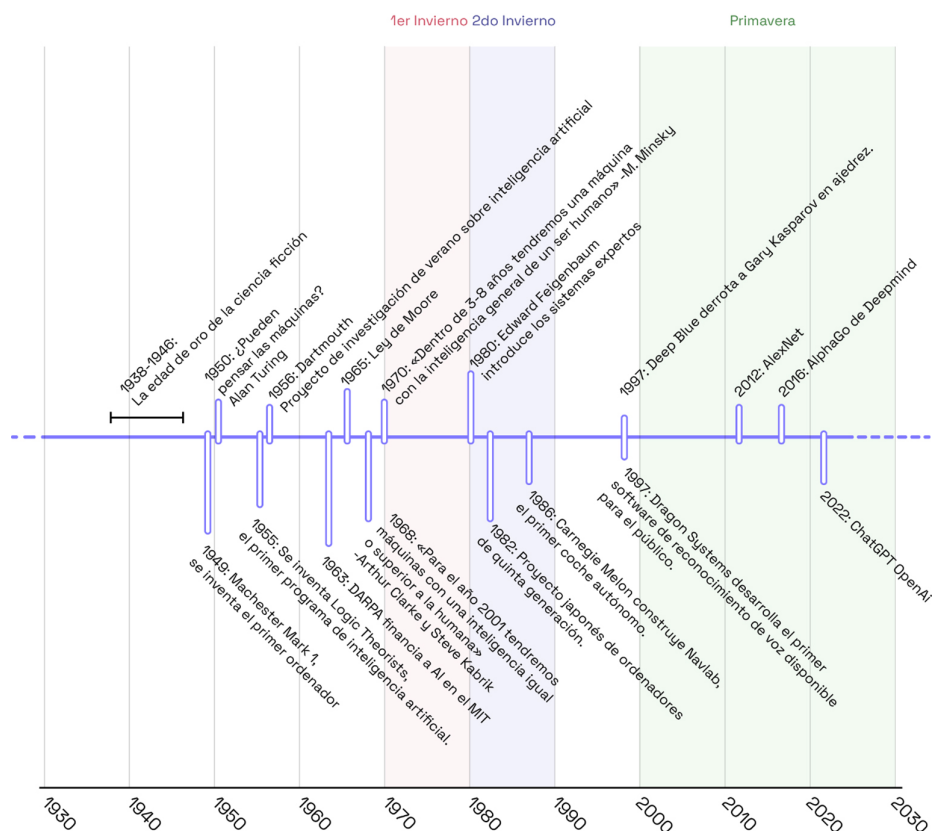
Las consecuencias de estos procesos son múltiples y pueden ser catastróficas, desde migraciones masivas, pérdida de biodiversidad, aumento de la conflictividad, desertificación, fragmentación del sistema, guerra (...). Es por ello de vital importancia promover una comprensión de las implicaciones que la carrera por la IAG conlleva, a fin de desarrollar e implementar los mecanismos de contingencia y resiliencia que se deben poner en marcha para maximizar los beneficios mientras se minimizan los riesgos del salto caótico que se presente ante nosotros (Csányi, 1989). Un salto que tendrá efectos disruptivos sobre el sector de la energía, tal y como observaremos en próximas secciones, en tanto que motor de la IA.

3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL: CONCEPTO, PROMESA Y COSTE ENERGÉTICO

La noción de Inteligencia Artificial se ve hoy en día profundamente influenciada por una serie de narrativas, más cercanas a la ciencia ficción que a la realidad tangible de la tecnología y de la ciencia (Martínez—Quirante & Rodríguez-Álvarez, 2020). Es por ello necesario comenzar la presente sección con un recorrido a través del término y su estado de desarrollo actual, antes de avanzar sobre sus promesas de futuro. Además, es igualmente importante vincular la Inteligencia Artificial a la infraestructura básica que requiere su desarrollo en tanto que materialización tangible de su estado y tendencia de desarrollo, donde tal y como veremos la energía juega un papel clave.

Si hacemos una breve incursión en la historia de la IA, podemos observar que la noción de inteligencia artificial es relativamente reciente. Esta entró en nuestro léxico en 1955, gracias a John McCarthy, quien en el verano de 1956 organizó la conferencia de Dartmouth (*Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*), que marcó el nacimiento de esta disciplina. Una disciplina que ya había sido soñada por otros visionarios del pasado, desde Ada Lovelace (Carlucci Aiello, 2016) hasta Alan Turing (Turing, 2009). Durante un largo período, la Inteligencia Artificial vivió un «invierno», un tiempo de estancamiento en el desarrollo y el entusiasmo, hasta que en la década pasada, debido a la creación de AlexNet en 2012 y el triunfo de AlphaGo de DeepMind en 2016, se reavivó el interés que nos conduciría a la fase actual de la IA, marcando a su vez un hito en la competitividad entre China y Occidente. Este renacimiento, hoy en día, se encuentra a su vez impulsado por avances significativos como la inteligencia artificial generativa (Suleyman, 2023). De esta forma, la Inteligencia Artificial hoy en día puede ser comprendida como un conjunto amplio de tecnologías y técnicas que involucra campos diversos, desde la informática a la neurociencia, pasando por las matemáticas, el derecho o la psicología cognitiva, entre muchos otros.

Figura 3: Desarrollo de la Inteligencia Artificial desde su inicio hasta la actualidad.



Así, la Inteligencia Artificial General, entendida como máquinas que posean la capacidad de entender, aprender y aplicar el conocimiento de manera amplia y flexible, similar a como lo hace un ser humano, se diferencia de lo que hoy en día denominamos Inteligencia Artificial en que todos los sistemas actuales son específicos. Es decir, se centran en tareas particulares (como el reconocimiento de imágenes o la traducción de idiomas) (B.J. Copeland, 2018; Russell et al., 2010). También en lo que se refiere a la IA generativa, de la cual hablaremos más adelante (generación de texto, imagen, video...). Siendo, por tanto, el objetivo de las investigaciones actuales crear algoritmos y modelos que puedan simular o replicar algunas capacidades cognitivas humanas, como el aprendizaje, la percepción, el razonamiento y la planificación, así como realizar avances en el hardware e infraestructura a fin de optimizar y brindar mayores eficiencias. Podemos así destacar

subcampos como el aprendizaje autónomo, el procesamiento del lenguaje natural, la visión por computación o la robótica, entre otros, y, como no, sus aplicaciones puramente militares (Martínez— Quirante & Rodríguez-Álvarez, 2020; Martínez-Quirante & Rodríguez-Alvarez, 2018), cada una con enfoques y estados de desarrollo específicos.

A modo de ejemplo, y con el objetivo de acercarnos a la complejidad de la IA, el subsistema de inteligencia artificial generativa, tan de moda en nuestros tiempos a través de aplicaciones como ChatGPT, Midjourney, DALL·E, Sora, etc., dentro de la cual se encuadrarían los LLM (*Large Language Models*), se distingue de la IA en general por su capacidad para crear contenido nuevo y original, a diferencia de la IA tradicional que se enfoca en tareas específicas basadas en datos existentes.

La IA generativa se basa, por tanto, en el desarrollo de redes neuronales profundas, especialmente arquitecturas como las RNNs, CNNs y transformadores, que permiten crear contenido original a partir de grandes cantidades de datos. Puede utilizar enfoques de aprendizaje supervisado, no supervisado y por refuerzo para entrenar estos modelos, destacándose técnicas como las Redes Generativas Adversarias (GANs) y los Autoencoders Variacionales (VAEs) (Xu et al., 2024). Representando un pequeño porcentaje del ecosistema de la IA, y aunque supone un paso adelante en la creatividad y la innovación dentro del campo de la inteligencia artificial. Esta sigue estando en la actualidad plagada de problemas, como las alucinaciones (Xu et al., 2024), de las que todavía no parece haya una solución en el horizonte o la gestión de propiedad intelectual como base para la generación de nuevas creaciones.

La IAG, sería por tanto el resultado de la combinación en avances en multiplicidad de áreas. Un horizonte que hoy en día promete revolucionar diversos campos científicos desde la química, a la biología, medicina, computación, matemáticas, física y un largo etc. Y que en combinación con las otras piedras angulares, biología sintética y computación cuántica prometen conducirnos a una era que todavía resulta difícil imaginar (Bostrom, 2005). Es por ello, que diversos analistas geopolíticos se han referido a la IAG como la garante de la supremacía global durante el próximo siglo.

Una promesa tecnocientífica que la ha convertido en el centro de una nueva carrera tecnológica entre Estados Unidos y China (Lazard, 2023; WEF, 2024). Una carrera que, cabe destacar, no se alimenta de las capacidades actuales de la tecnología, sino de las promesas asociadas a su desarrollo. Donde los sistemas de clasificación basados en estados de madurez de la tecnología empleados en la actualidad nos dan buena cuenta de las aspiraciones asociadas a la misma, siendo por tanto interesante describir algunos de los principales.

Así, la clasificación de Arend Hintze (Hintze et al., 2017), que se basa en la capacidad predictiva y los niveles de complejidad de las máquinas. Divide la IA en categorías como máquinas reactivas, memoria limitada, teoría de la mente y autoconciencia:

1. Máquinas reactivas: Consideradas como el nivel más simple, hace referencia a máquinas que usan inteligencia artificial pero no pueden recordar ni utilizar experiencias pasadas para tomar decisiones. Ejemplo: Deep Blue, la computadora de ajedrez.
2. Memoria limitada: A diferencia de las máquinas reactivas, estas tienen una memoria limitada que les permite aprender de los datos y tomar decisiones basadas en la experiencia, aunque dicha memoria se limite a periodos cortos.
3. Teoría de la mente: En este nivel, las máquinas pueden procesar emociones y llevar a cabo procesos de reflexión propios de la mente humana, mejorando su comprensión de las interacciones. Aún no hay aplicaciones concretas en este nivel, pero se proyecta como un modelo innovador.
4. Autoconciencia: El nivel más alto, donde las máquinas pueden no solo comprender emociones, sino también tener sus propias emociones y conciencia. Aún en desarrollo, se espera que las máquinas alcancen este nivel de autoconciencia.

Por otro lado, estaría la clasificación por el nivel de inteligencia, que es la que utilizamos en el presente artículo como escala de referencia que clasifica la IA en:

1. Inteligencia artificial estrecha (ANI): Conocida como IA débil, se enfoca en tareas específicas y tiene capacidades limitadas en comparación con la inteligencia humana.
2. Inteligencia artificial general (AGI): Se encuentra en investigación y se espera que las máquinas en este nivel sean tan capaces como los humanos y puedan imitar las complejidades del pensamiento humano.
3. Súper inteligencia artificial (ASI): El nivel más alto de inteligencia esperado, donde las máquinas superarán las capacidades intelectuales humanas y serán aún más capaces en diversos aspectos. (Martínez-Quirante & Rodríguez-Alvarez, 2018; Rodríguez, 2016).

Estas clasificaciones proporcionan una base para comprender no solo los diversos enfoques y niveles de inteligencia artificial, mostrando la amplitud

y la complejidad de este ecosistema tecnológico en constante evolución, sino también las potenciales promesas que se han gestado en torno a su desarrollo, así como las dificultades que entraña para el regulador, ante la necesidad de acotar márgenes de acción más basados en potencialidades e incertezas que en el estado de desarrollo actual. Es por ello importante tener en cuenta que ejercicios hiperregulatorios, como el protagonizado por la Unión Europea (European Commission, 2024; Ulnicane, 2022), solo pueden ser explicados a través del reconocimiento de una estrategia de carácter geopolítico como parte de su carrera por la IAG, en la que busca establecerse como un referente en la creación de normas y estándares internacionales, tal y como ya ha hecho en ámbitos clave como la protección de datos. Al liderar el camino regulatorio, la UE pretende influir en la adopción de prácticas similares a nivel global, fortaleciendo su posición y reputación como un actor clave en el escenario internacional, al mismo tiempo que condiciona su desarrollo e implementación (Ballbé, 2007).

La diferencia entre los enfoques de China y la UE a menudo se ve como la división «Este vs Oeste» en la regulación de la IA. Y es una tendencia realmente interesante. Ya que China apunta a crear más de 50 nuevos estándares para 2026 (estandarizando todo el espectro de la IA, desde la terminología hasta las especificaciones de los chips). Cuyos borradores actuales (por ejemplo, TC260), muestran que los estándares chinos tienden a prescribir más especificaciones cuantitativas (por ejemplo, métricas, umbrales, etc.) que directrices cualitativas. Lo que puede representar un nuevo marco global, que ponga en riesgo la preminencia europea en lo relativo a la regulación y creación de estándares internacionales.

Este conjunto de factores permite observar la complejidad del sistema tecnológico que se encuentra bajo el término Inteligencia Artificial y sus potenciales impactos sobre el sistema. A lo que, además, debemos añadir la infraestructura y los recursos necesarios para sostenerse, los cuales en muchas ocasiones son ignorados debido a que la IA se presenta ante el gran público a través de interfaces digitales, ocultando así la enorme infraestructura y recursos (electricidad, agua) imprescindibles para su funcionamiento y desarrollo. Simplemente, y a modo de ejemplo, entrenar GPT-3, que tiene 175 mil millones de parámetros (no hay datos oficiales respecto a la versión GPT-4), consumió aproximadamente 1,287 MWh (megavatios-hora) de electricidad, equivalente al consumo de energía de un hogar estadounidense promedio durante 120 años (Mehta Sourabh, 2024).

Un consumo que en el caso de los LLM viene condicionado por múltiples factores tal y como son:

- a) El tipo de hardware utilizado para entrenar y ejecutar LLM. Las GPUs (unidades de procesamiento gráfico) y TPUs (unidades de procesamiento de tensores) de alto rendimiento, como las GPUs A100 de NVIDIA, que tomaremos como ejemplo a lo largo del presente trabajo ya que son muy utilizadas debido a su capacidad para manejar cálculos paralelos a gran escala, y los cuales tienen un consumo promedio de 400 kilovatios por hora.
- b) El tiempo de entrenamiento. En modelos grandes puede llevar semanas o incluso meses, durante los cuales el hardware opera continuamente, consumiendo energía. Por ejemplo, entrenar BERT en un conjunto de datos grande llevó aproximadamente 64 días de TPU (Mehta Sourabh, 2024; Mims, 2023).
- c) La eficiencia de la infraestructura: A modo de ejemplo analizaremos los centros de datos cuyo impacto será el hilo conductor de la siguiente sección al tratarse de una de las piedras angulares que sostienen la IA y por tanto su impacto energético será abordado en profundidad más adelante.
- d) El ajuste de hiperparámetros y la eficiencia algorítmica. Por ejemplo, a través del afinamiento de modelos y la creación de algoritmos más eficientes se puede reducir la carga de computación.
- e) El preprocesamiento de datos antes del entrenamiento de modelos. Por ejemplo, *Common Crawl dataset* para GPT-3, que consume recursos computacionales, aunque menos intensivos que el entrenamiento en sí, contribuyendo en general a la huella energética. (Mehta Sourabh, 2024).

Tamaño del Modelo (n.º de Parámetros)	Recursos Computacionales	Duración del Entrenamiento (Horas)	Infraestructura	Energía de Entrenamiento (MWh)	Evaluación Energética
7B	8 GPUs (NVIDIA V 100)	336	Cloud (Eficiente)	50	5
40B	64 GPUs (NVIDIA V 100)	672	Cloud (Eficiente)	200	10
100B+	1024 GPUs (NVIDIA V 100)	1344	Cloud (Eficiente)	1,287	50
Custom Model	512 GPUs (NVIDIA V 100)	1008	Cloud (Eficiente)	800	30

De este modo, para comprender el consumo total de energía asociado a un modelo de lenguaje, debemos considerar la suma de la energía empleada en las fases de entrenamiento, evaluación e inferencia.

Tomemos como ejemplo el despliegue de un modelo de 7 mil millones de parámetros (7B), que, aunque considerable, es relativamente pequeño en comparación con modelos de gran escala como GPT-3.

- Durante la fase inicial de entrenamiento, el modelo consume aproximadamente 50 MWh.
- La fase de evaluación, en la que se ajusta y valida el rendimiento del modelo, requiere cerca de 5 MWh adicionales.
- Finalmente, si asumimos que un millón de usuarios realiza una consulta cada uno, el consumo energético asociado a la inferencia asciende a unos 0.1 MWh.

Sumando estos valores, el consumo total de energía sería de aproximadamente 55.1 MWh. (Mehta Sourabh, 2024).

A modo de comparación, el gasto medio de electricidad por hogar en España es de 3.487 kWh al año, según el informe Consumos del Sector Residencial en España de IDAE (IDAE, 2021), por lo que 55.1 MWh equivaldría al consumo del hogar medio durante 15.8 años. Esto nos aporta una pequeña idea de lo intensivos que pueden ser estos sistemas respecto al consumo energético, el cual será explorado en mayor profundidad a través de las siguientes secciones.

Podemos concluir así que la IA, como concepto, cubre una multiplicidad de áreas de conocimiento, tecnologías y técnicas, además de aspectos sociales y regulatorios, y cuyo desarrollo centra las dinámicas de competitividad entre China y Estados Unidos a través de las promesas de Inteligencia Artificial General y Superinteligencia. Además, la Inteligencia Artificial es intensiva por lo que respecta a su uso de recursos e infraestructura, tal y como abordaremos en la próxima sección a través del caso de los centros de datos y las GPU.

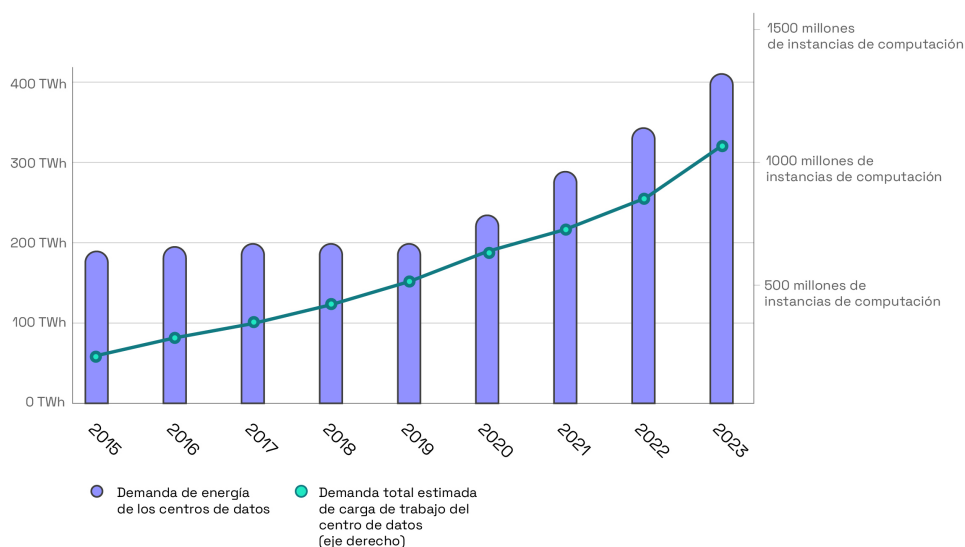
4. LOS CENTROS DE DATOS Y LOS GPU COMO EJEMPLO RELATIVO A LAS NECESIDADES DE ENERGÍA DE LA IA Y SUS PROYECCIONES FUTURAS

«Durante el último año, la conversación en la ciudad ha pasado de clústeres de computación de \$10 mil millones a clústeres de \$100 mil millones y a clústeres de

un billón de dólares. Cada seis meses se añade otro cero en los planes de la sala de juntas. Detrás de escena, hay una lucha feroz por asegurar cada contrato de energía aún disponible para el resto de la década, cada transformador de voltaje que se pueda conseguir. Las grandes empresas estadounidenses se están preparando para invertir billones de dólares en una movilización del poder industrial estadounidense que no se ha visto en mucho tiempo. Para el final de la década, la producción de electricidad en Estados Unidos habrá crecido decenas de por ciento; desde los campos de esquisto de Pennsylvania hasta las granjas solares de Nevada, cientos de millones de GPUs resonarán.» (Aschenbrenner, 2024 p2).

En 2023, antes que el auge de la IA realmente despegara, la Agencia Internacional de la Energía (en adelante AIE) estimó que los centros de datos ya representaban el 1-1,5% del consumo global de electricidad y alrededor del 1% de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía en el mundo. Para hacer una comparación, en 2022, el sector de la aviación representó el 2% de las emisiones globales de CO₂ relacionadas con la energía, mientras que el sector del acero fue responsable del 7-9% (Noble & Berry, 2024).

Figura 3. Consumo energético en TWh y poder de computación expresado en millones de instancias de computación.

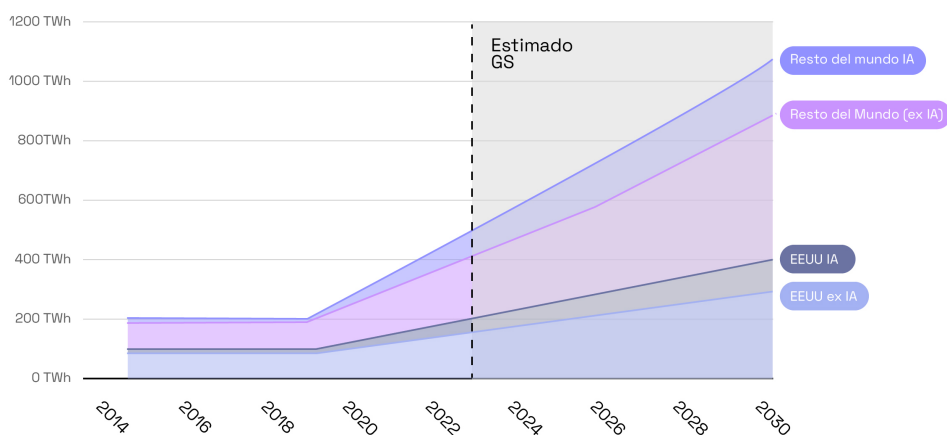


Fuente: (Goldman&Sachs, 2024).

El impacto de la AI generativa, y la carrera por la IAG, pueden fácilmente duplicar esos datos mucho antes del final de la década. Según datos aportados por AIE se estima que de 2022 a 2026, el consumo de electricidad de

los centros de datos a nivel mundial se duplicará, llegando a más de 1.000 teravatios-hora en 2026, una cantidad equivalente al consumo anual total de Japón. Para 2030, se espera que los centros de datos requieran hasta un 9% de la electricidad de EE. UU., según el *Electric Power Research Institute* (en adelante EPRI por sus siglas en inglés), un aumento masivo desde el actual 1,5% (EPRI, 2024). Ilustrando no solo su capacidad de consumo, sino de las necesidades estructurales y de infraestructura que representa, sobre todo en relación a la solidez de la red eléctrica.

Figura 4: Proyección del consumo global de energía y el impacto de la inteligencia artificial.



Fuente (Goldman & Sachs, 2024).

Además, debemos tener en cuenta que esta se desarrolla en paralelo a otras tecnologías extensivas en lo relativo a su consumo eléctrico, algunas de las cuales también requieren del uso de un gran poder computacional. Si tomamos como ejemplo la tecnología blockchain, podemos observar que simplemente acuñar un NFT utilizando la plataforma Ethereum consume más de 260 kilovatios-hora de electricidad. Esta es la misma cantidad de electricidad que requiere un hogar estadounidense promedio durante un período de 9 días, eso sin tener en cuenta procesos asociados como: Oferta: 41 kWh, 24 kgCO₂; Cancelar oferta: 12 kWh, 7 kgCO₂; Venta: 87 kWh, 51 kgCO₂; transferencia de propiedad: 52 kWh, 30 kgCO₂ (Kilgore, 2024).

Si tenemos en cuenta que Ethereum tiene un volumen de transacciones mensual que varía entre 1 y 2 millones en 2024, nos da una idea de los costes energéticos que las tecnologías emergentes pueden representar para el sistema en el medio plazo. Además, en lo relativo al impacto ecológico,

es necesario recordar que menos del 25% de los centros de datos utilizan energía de baja emisión de carbono, aunque la presión de los reguladores hace que la generación de energía renovable sea crucial y está impulsando inversiones en toda la cadena de valor de la energía (IEA, 2024b).

Tal y como afirmó Mark Zuckerberg, *«la energía, no la computación, será el principal obstáculo para el progreso de la IA»* (Meda, 2024). Según datos del EPRI, esta tendencia está comportando que las empresas de servicios públicos se encuentren hoy en día enfrentando enormes desafíos para proporcionar suministros futuros de electricidad para los centros de datos, vehículos eléctricos, criptomonedas y otras nuevas fuentes de demanda. Empresas como Dominion Energy, Duke Energy y Georgia Power han desarrollado planes para retrasar el cierre de sus centrales eléctricas a carbón y agregar capacidad de gas natural para satisfacer la futura demanda eléctrica prevista, según la Corporación de Confiabilidad Eléctrica de América del Norte (NERC, 2024). Un escenario que, sin duda alguna, ilustra la prioridad estratégica que la IA representa frente a los acuerdos climáticos, que, tal y como veremos en futuras secciones, corren el riesgo de ser erosionados a fin de asegurar el desarrollo de la IAG.

Además, también hay que recordar que los centros de datos también consumen cantidades sustanciales de agua para operaciones de enfriamiento. En 2021, los centros de datos de Google extrajeron cerca de 16.285 millones de litros de agua. Un centro de datos promedio de Google utiliza 1.703.994 litros de agua al día (Noble & Berry, 2024; Zhang, 2024) lo que viene a ser más o menos el equivalente de una población de 50.000 persona durante un año. Además de provocar otro tipo de externalidades como el ruido. Las líneas de suministro eléctrico ubicuas y la expansión continua de las operaciones de centros de datos han perturbado muchos estilos de vida suburbanos. En algunos casos, nuevos edificios han surgido directamente adyacentes a áreas residenciales, lo que ha llevado a establecer nuevos requerimientos en numerosos planes urbanos a fin de facilitar la coexistencia de este tiempo de centros, con la calidad de vida de los habitantes de las áreas donde se localizan.

Por tanto, y pese a que los centros de datos son una de las piezas clave en la carrera por la IAG, las externalidades negativas asociadas a los mismos, así como su consumo intensivo de recursos, están comenzando a producir fuertes rechazos en algunas regiones, lo que puede resultar indicio de futura conflictividad social. Además, es necesario tener en cuenta que en muchos casos la expectativa de empleos de calidad y mayores ingresos fiscales por

la expansión de los centros de datos se ha visto contrarrestada por la carga de facturas de servicios públicos más altas, inversiones en infraestructura o la contaminación soportada por los residentes locales. En algunos estados de Estados Unidos, la expectativa de una mayor base impositiva local fue contrarrestada por decisiones a nivel estatal de brindar incentivos fiscales a empresas tecnológicas, reduciendo así sus obligaciones fiscales locales. Y en otras áreas, las inversiones del sector tecnológico resultaron en menos puestos de trabajo (Yosie, 2024), generando un contexto que, si no es redirigido, puede tener profundas afectaciones sociales. Sobre todo, si tenemos en cuenta que la demanda de espacio de centros de datos por parte de la industria en muchos mercados de todo el mundo se encuentra al alza debido al auge de la inteligencia artificial, tal y como afirma la firma de bienes raíces comerciales CBRE (CBRE, 2024). Siendo precisamente la escasez de energía la principal preocupación para los operadores de estos en todas las regiones (Norteamérica, Europa, América Latina y Asia-Pacífico).

En Norteamérica, por ejemplo, y según el mismo informe, el inventario de centros de datos creció un 24,4 por ciento durante el primer trimestre de 2024, en comparación con el mismo período del año anterior. Esto llevó a la adición de 807,5 MW de capacidad en los cuatro mercados de centros de datos más grandes de la región: Norte de Virginia, Chicago, Dallas y Silicon Valley. Según CBRE, un número relevante de gobiernos locales se han visto obligados a tomar medidas para abordar las restricciones de energía mediante acciones como simplificar los permisos e integrar más energía renovable en la red. En el caso de Europa, el mercado de centros de datos creció casi un 20 por ciento durante el trimestre, con un «desarrollo significativo» observado en los cuatro principales mercados de la región: Frankfurt, Londres, Ámsterdam y París (FLAP), y donde París experimentó un crecimiento del 40 por ciento interanual. Lo que indica potenciales tensiones entre la demanda de agua y energía y la capacidad de provisión por parte de los operadores. *Thames Water, la compañía de provisión de aguas de Londres, incluso ha llegado a plantearse establecer restricciones a los centros de datos* (DCD, 2023).

La tensión del sector es tan elevada que *«la precontratación de instalaciones ahora es común, una tendencia que se ha notado antes, tanto en Europa como en Norteamérica. Esto apunta a una necesidad continua de inversión en el desarrollo de centros de datos, aunque la obtención de energía sigue siendo un desafío clave»* (CBRE, 2024).

En el caso de Europa, además, debemos tener en cuenta que nos encontramos ante una situación de crecimiento continuo pese a: *«La escasez de*

energía y terrenos, combinada con una mayor regulación» que según Andrew Jay, Jefe de Soluciones de Centros de Datos para CBRE en Europa «son los factores inhibidores más prominentes cuando se trata del desarrollo de centros de datos en Europa».

El mercado latinoamericano por su parte, vio crecer su inventario un 15 por ciento interanual, mientras que para Asia-Pacífico la cifra es del 22 por ciento, con Tokio, Sídney, Hong Kong y Singapur cada uno con más de medio gigavatio de capacidad, a pesar de restricciones de planificación más estrictas en Singapur, o la incapacidad autónoma de Hong Kong de producción eléctrica, la cual es asegurada a través de la interconexión con *China Southern Power Grid*, la cual ya en 2021, antes del auge de la IA, cubría 23% del total de la demanda (EMSD, 2022).

La combinación de alta demanda y escasez de disponibilidad de centros de datos está empujando inevitablemente a un alza de los precios. Las tarifas medias solicitadas para un requisito típico de 250 a 500 kW en los cuatro mercados norteamericanos destacados aumentaron un 20 por ciento en el primer trimestre, según CBRE (CBRE, 2024). Y en Europa existe una situación similar, donde los precios están subiendo debido a la alta demanda y al aumento de los costes de construcción, con Frankfurt experimentando el mayor aumento, 15 por ciento, mientras que las tarifas de alquiler en Londres también han aumentado constantemente desde mediados de 2024. Y esta se trata de una tendencia actualmente al alza que no tienen visos de alterarse en el medio plazo, con una subida también en los mercados emergentes, como Oslo y Madrid.

Además, el grupo de investigación de mercado Dell'Oro estima que el gasto de capital anual en centros de datos a nivel mundial casi se duplicará a US\$400 mil millones desde US\$240 mil millones entre 2022 y 2027. Y estas estimaciones podrían ser conservadoras. Por ejemplo, Amazon proyecta invertir US\$150 mil millones en centros de datos durante los próximos 15 años, mientras que Microsoft, en combinación con OpenAI, está planeando un proyecto de supercentro de datos de próxima generación con un costo que podría superar los US\$100 mil millones (Dell'OroGroup, 2023).

Nos encontramos, por tanto, ante un escenario de crecimiento de la demanda de Centros de Datos, unas instalaciones que son inherentemente intensivas en uso de energía y recursos debido a la escala y complejidad de sus operaciones (JRC, 2024). Ya que proporcionan energía y refrigeración para un gran número de servidores y operaciones de redes necesarias para

procesar y almacenar enormes cantidades de datos, operaciones vitales para el desarrollo de la IA.

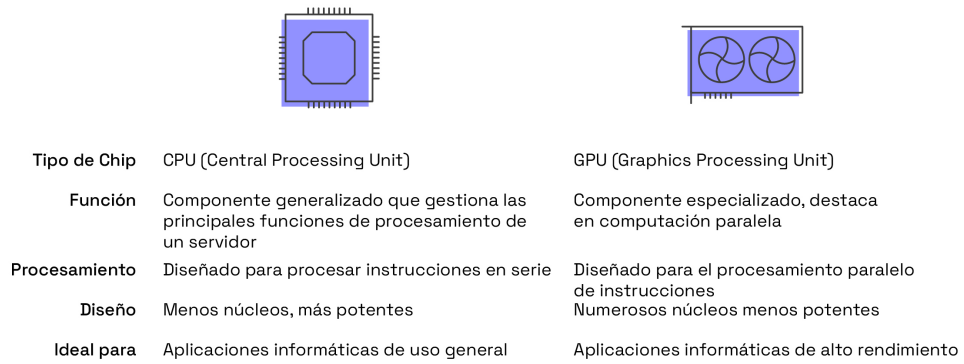
La paradoja de Jevons adquiere, por tanto, en este contexto una relevancia extraordinaria (Hussain, 2024). En términos generales, esta paradoja describe la idea de que, a medida que se incrementa la eficiencia en el uso de un recurso (como la energía), en lugar de reducirse su consumo, aumenta debido al incremento en la demanda. Por ejemplo, los H100 de NVIDIA son más eficientes energéticamente que versiones previas, aunque consumen más energía en total. Así, en el contexto de la inteligencia artificial (IA), podemos ver que, a medida que la IA se vuelve más eficiente en su funcionamiento y en la resolución de tareas, la demanda y el consumo de recursos como la energía y el agua pueden aumentar significativamente.

Hoy en día, la creciente eficiencia de los algoritmos de IA está resultando en un mayor uso de centros de datos y servidores para alimentar las operaciones de la IA. Y, aunque se espera que la IA optimice ciertos procesos y haga más eficiente el uso de recursos en algunas áreas, su creciente aplicación y demanda pueden tener efectos contrarios en el consumo de energía y recursos hídricos. Además, hay que tener en cuenta que, en la carrera por la AGI, muchas naciones están planteando la construcción de sus propios sistemas de IA «soberanos» para mantenerse competitivas y procesar datos localmente, lo que producirá como consecuencia directa una multiplicación de los Centros de Datos, así como un fuerte crecimiento en la demanda de energía a nivel global. Es por ello por lo que, en la siguiente sección, intentaremos capturar los potenciales impactos que la carrera por la IAG puede tener sobre los acuerdos climáticos y cómo estos son percibidos en el contexto de esta carrera.

Si bien hay otra serie de tendencias relacionadas con el futuro de los Centros de Datos y su impacto en el consumo de recursos que nos gustaría mencionar previamente. En primer lugar, la adopción de *software* de inteligencia artificial (IA) es una de las curvas de adopción más rápidas que los mercados han visto jamás. Siendo los grandes modelos de lenguaje (LLM), como ChatGPT, utilizados para generar conversaciones humanizadas, solo una de las muchas nuevas aplicaciones que dependen de la «computación en paralelo», el término usado para describir el enorme trabajo computacional realizado por redes de chips que llevan a cabo multiplicidad de cálculos simultáneamente. En cuyo núcleo se encuentran las GPU (unidades de procesamiento gráfico), que sobresalen en el tipo de trabajo especializado y de alto rendimiento de la computación en paralelo requerido por la IA.

Cuya potencia de procesamiento resulta en mayores entradas de energía que generan más salida de calor en comparación con sus contrapartes CPU (unidades centrales de procesamiento) utilizadas en los PC y sistemas clásicos. Ver Figura 5.

Figura 5 — Comparación de núcleos — CPUs vs GPUs.



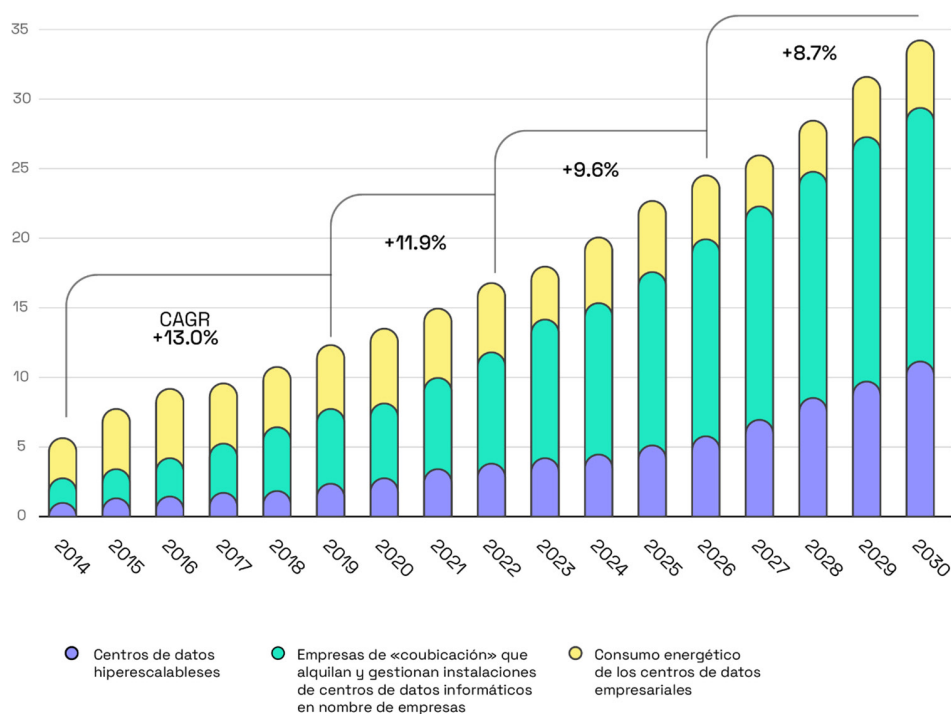
Fuente: GPU vs CPU — Diferencia entre Unidades de Procesamiento.

Las GPU de alta gama son aproximadamente cuatro veces más densas en energía que las CPU. Esto constituye nuevos problemas significativos para la planificación del centro de datos, ya que el suministro de energía calculado originalmente supondría solo el 25 % de lo que se necesita para operar centros de datos basados en arquitecturas de GPU. En este sentido, es necesario destacar que los centros de datos de hiperescala más avanzados utilizados por Amazon, Microsoft y Alphabet para la computación en la nube todavía funcionan con CPU. Para ilustrar esto, volveremos a tomar como ejemplo el chip de IA A100 de Nvidia, el cual tiene un consumo constante de energía de aproximadamente 400 W por chip, mientras que el consumo energético de su último microchip, el H100, casi se duplica, consumiendo 700 W, similar a un microondas. Si un centro de datos de hiperescala completo con un promedio de un millón de servidores reemplazara sus servidores actuales con estos tipos de GPU, la energía necesaria aumentaría de 4 a 5 veces (1500 MW), lo que representa el equivalente a una central de energía nuclear (Studer, 2023).

Este aumento en la densidad de energía significa, además, que estos chips generan significativamente más calor. En consecuencia, los sistemas de refrigeración también deben volverse más potentes. Los cambios en energía y refrigeración de estas magnitudes requerirán diseños totalmente nuevos para los futuros centros de datos impulsados por IA. Esto crea un desequilibrio

enorme entre la oferta y la demanda en la infraestructura subyacente de chips y centros de datos. Teniendo en cuenta el tiempo que lleva construir centros de datos, los expertos de la industria proyectan que estamos en las primeras etapas de una modernización que durará décadas (McKinsey, 2023).

Figura 6: Crecimiento en el consumo de energía de los centros de datos de EE.UU. (gigavatios) Incluye el consumo de energía para almacenamiento, servidores y redes. El amarillo indica el consumo de energía de centros de datos empresariales, el verde claro «co-location» empresas que alquilan y gestionan instalaciones de centros de datos de TI en nombre de las empresas, el violeta oscuro indica centros de datos de hiperescala.



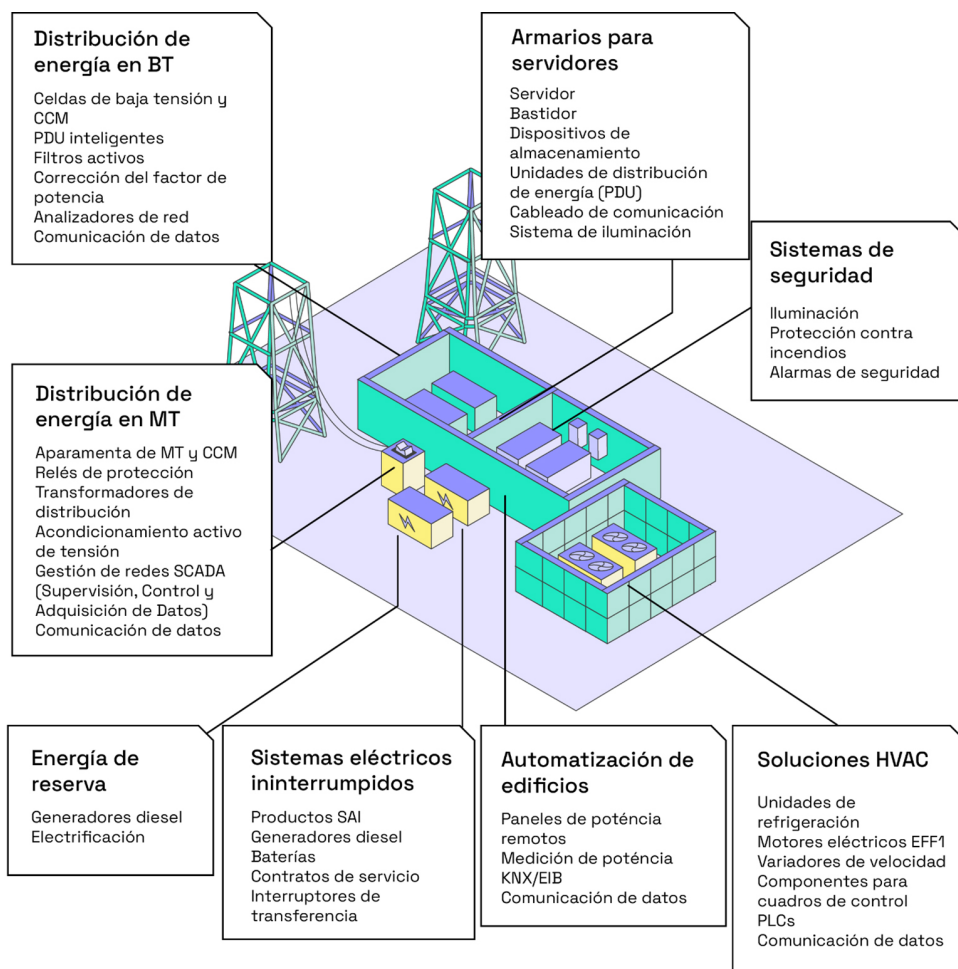
Fuente: (McKinsey, 2023).

Equipar los centros de datos para las necesidades de IA implicaría además actualizaciones masivas no solo de chips y servidores, sino también de la infraestructura eléctrica que les suministra la energía para operar. Atendiendo a que aumentar el suministro de energía significa aumentar el voltaje eléctrico y/o la corriente ($\text{Potencia} = \text{voltaje} \times \text{corriente}$). Siendo aumentar el voltaje la opción más viable. En consecuencia, la industria requiere rediseñar muchos componentes estándar que se definieron en la

era temprana de las computadoras y los servidores, cuando las densidades de potencia eran relativamente bajas (2-3kW por rack). Esto significa nuevas configuraciones para cables de alimentación, bastidores de distribución de energía y convertidores, ya que superan los formatos actuales (ver Figura 7). A nivel de chip, existen desafíos aún mayores, ya que un mayor voltaje y, por lo tanto, más potencia para la GPU requiere un rediseño completo del diseño de la potencia del chip (SMA, 2020).

Figura 7: La complejidad de los sistemas eléctricos de los centros de datos
Alimentar un centro de datos implica múltiples sistemas interconectados que deben funcionar sin problemas para un rendimiento óptimo del procesamiento.

LV = Dispositivos de bajo voltaje, MV = Dispositivos de mediano voltaje.



Fuente: (SMA, 2020).

Además, y tal y como ya hemos mencionado, la refrigeración es clave para garantizar un alto rendimiento del sistema y prevenir fallos. Las soluciones tradicionales de HVAC que utilizan aire acondicionado y ventiladores para enfriar el aire en las salas de servidores son adecuadas para las CPU, cuyos racks gestionan densidades de energía entre 3-30 kW, pero no para las GPU, cuyas densidades de energía fácilmente superan los 40 kW. A medida que los racks de GPU más recientes superan estos niveles de potencia, la refrigeración adicional por líquido vuelve una vez más al primer plano. Ya que está representando una mayor disipación de calor a nivel de rack de servidor o chip porque los líquidos tienen una mayor capacidad para capturar calor por unidad de volumen que el aire. Sin embargo, algunos de los mayores desafíos de la refrigeración líquida son 1) la falta de diseños y componentes estandarizados para tales sistemas, 2) diferentes opciones tecnológicas, como la refrigeración por chip o por rack y 3) altos costos para tuberías y medidas para prevenir fugas.

Siendo la perspectiva de numerosos expertos sobre la revolución de la IA y su impacto en los requisitos energéticos de los centros de datos, que se requerirá nada menos que una completa reingeniería de la infraestructura, también hacia afuera, para adaptarse a las necesidades energéticas mucho mayores de la nueva tecnología. Esto resultará en un fuerte impulso en la demanda e inversiones para centros de datos en aplicaciones de computación de baja potencia, HVAC eficiente en energía y soluciones de gestión de energía: todas estas soluciones de eficiencia energética para Big Data son áreas clave de inversión para la estrategia de energía inteligente (Studer, 2023).

Un claro indicador de esta tendencia es que, tal y como observa Goldman & Sachs, las empresas que suministran soluciones de eficiencia energética a centros de datos muestran una fuerte tendencia de crecimiento. Las cuales, además, han sido recalificadas en el mercado, cotizando en lo que llevamos de 2024 en el extremo superior de su rango histórico de crecimiento (Goldman & Sachs, 2024). Además, uno de los factores interesantes es que, debido a la carrera subyacente por la IAG por parte de los estados, esto significaría que el crecimiento de los centros de datos podría desacoplarse de una posible recesión, ya que no dependerán del ciclo económico (Studer, 2023).

Un futuro cercano que verá un crecimiento exponencial en el número y tamaño de unos centros que representan solo la punta de iceberg en lo relativo a las necesidades estructurales futuras de la IA. Un horizonte que

representa profundos retos para la red eléctrica, tal y como observaremos a través de la siguiente sección.

5. LA RED ELÉCTRICA Y LA CARRERA POR LA ENERGÍA

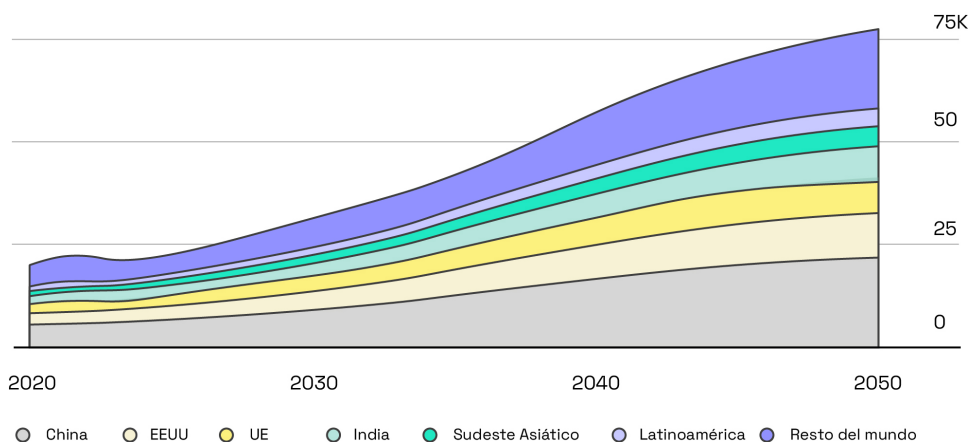
Tanto la carrera por la IA, tal y como ahora ya podemos intuir, como el cambio climático, tienen y tendrán profundas implicaciones sobre la red eléctrica, tensionándola como nunca y requiriendo de enormes inversiones a fin de actualizarla, dotándola tanto de mayor capacidad como resiliencia. Una red, de cuyo desarrollo dependerán a su vez de los propios avances en Inteligencia Artificial como del éxito en los esfuerzos por reducir nuestras emisiones de CO₂.

Y es que hoy en día, ya está claro que el aumento global de la temperatura está teniendo un impacto significativo en las redes eléctricas a nivel mundial, como se evidencia en los recientes apagones en Montenegro, Houston y México (junio y julio de 2024) o el sufrido recientemente en España con afectaciones sobre todo el territorio nacional (abril de 2025). Lo que pone de manifiesto que los fenómenos climáticos extremos como olas de calor, inundaciones y tormentas unidos a la propia fragilidad de la red están agravando y agravarán aún más si cabe la presión sobre los sistemas de energía en todo el mundo.

Y es que hoy en día, la mayoría de los apagones ocurren cuando grandes cantidades de suministro o demanda se encienden o apagan repentinamente. Por tanto, las tormentas, una ráfaga de generación renovable o aumentos en el uso pueden causar apagones en los que la red no es lo suficientemente resiliente. El cambio climático amplía las vulnerabilidades más allá de las economías en desarrollo. Recientemente, los problemas han afectado a más países de nivel medio, incluyendo de países ricos en energía como México y Kuwait (The National, 2024), así como a importadores como Albania.

Tal y como ha mencionado Felicia Aminoff, analista de BNEF *«Con el aumento de las temperaturas y el acceso a la climatización, la red se verá sometida a una mayor presión»*, *«Ya hemos observado un aumento en la demanda máxima en verano en ciertos países europeos, como Grecia, así como en Oriente Medio»* (The National, 2024).

Figura 8: Demanda global de electricidad en un escenario net zero expresado en teravatios por hora.



Fuente: (Farhat et al., 2024).

Una de las causas comunes de los problemas en las redes es una planificación deficiente. En Kuwait, los residentes de uno de los países más ricos del mundo han tenido que soportar cortes de energía programados en junio de 2024 (MacDonald, 2024). Los operadores de red cerraron deliberadamente partes de la red para evitar un apagón total, ya que las plantas de energía luchaban por hacer frente a una demanda creciente cuando las temperaturas superaban los 50 grados Celsius. Esto llevó a que los departamentos de bomberos se vieran desbordados con llamadas para rescatar a personas atrapadas en ascensores. Y es que, tal y como afirmó Michael Webber, profesor de energía en la Universidad de Texas en Austin: «*Todo el sistema de energía fue construido y diseñado en una era climática y ahora se le pide que funcione en una era climática diferente*». «*Esto simplemente significa que más cosas pueden salir mal*». Y la realidad es que redes inestables crean inestabilidad para las empresas, agitan la política y amenazan vidas. (Farhat et al., 2024).

Kuwait, además, ha advertido que podría verse obligado a programar más cortes de energía para evitar una avería en el sistema. Según Fuad Al-Own, exfuncionario del Ministerio de Electricidad y Agua de Kuwait, en declaraciones a Bloomberg: «*Nadie entendió la importancia de tomar medidas preventivas*» relativas al cambio climático, «*Hay que planificar con años de antelación*». Y aunque Kuwait puede aprovechar los masivos ingresos petroleros para respaldar la inversión en la red, otros países no son tan afortunados (Farhat et al., 2024; MacDonald, 2024).

En junio de 2024, Ecuador sufrió el peor apagón en dos décadas, obligando a pasajeros a abandonar los trenes atascados y caminar por túneles oscuros (BBC, 2024). Aunque tiene grandes reservas de petróleo, el país está endeudado y depende del FMI y otros prestamistas. Algunos problemas en este caso, también se deben a proyectos mal planificados, como la planta hidroeléctrica Coca-Codo Sinclair de \$3 mil millones. Esta planta, que proporciona una cuarta parte de la electricidad del país, sufrió más de una docena de apagones en 2024, y presenta más de 7,000 grietas en sus conductos (Farhat et al., 2024; Redacción, 2024).

En México, los apagones son más comunes con veranos más calurosos y secos, y una economía en crecimiento que presiona las redes eléctricas. En este país, numerosas empresas han comenzado a usar generadores diésel, una solución costosa y común en países con sistemas eléctricos inestables. En junio de 2024, los apagones en Chihuahua afectaron a más de 70,000 personas durante dos semanas (Ponce, 2024). La frecuencia de estas interrupciones obligó a los productores de lácteos y queso a gastar hasta 50,000 pesos diarios (alrededor de 2.500 euros) en combustible para generadores.

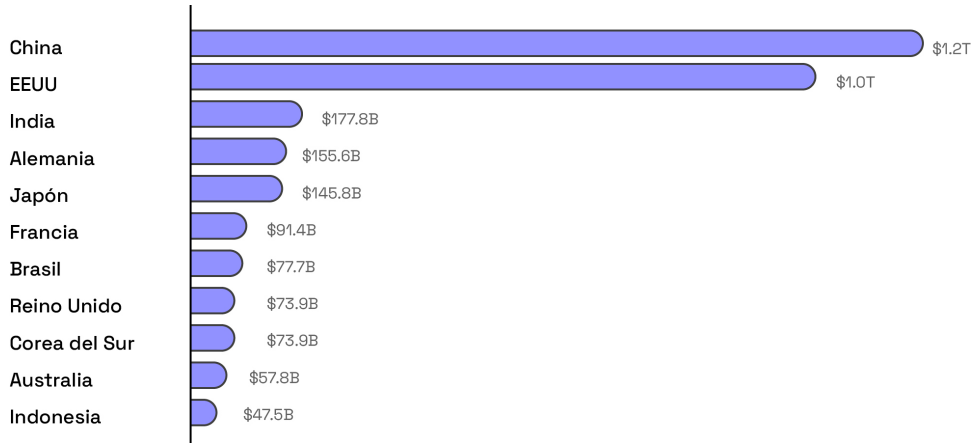
La falta de inversión en el sector eléctrico, acentuada bajo la presidencia de Andrés Manuel López Obrador y su decisión de priorizar la industria petrolera nacional, afectará el crecimiento de México. La presidenta electa, Claudia Sheinbaum, ha prometido \$13.6 mil millones para energía renovable, gas y transmisión, aunque se estima que la necesidad alcanza los \$38 mil millones en cinco años (Averbuch & Squires, 2024).

La tensión en la red eléctrica también es una preocupación en EE. UU., donde los operadores luchan por mantener el suministro ante eventos climáticos extremos. En California hubo breves apagones durante olas de calor extremo en 2020 y 2022. En febrero de 2021, la red de Texas colapsó debido a una tormenta invernal, causando 246 muertes y más de \$195 mil millones en daños (Flores et al., 2022).

En países con sistemas deficientes, el cambio climático agravará mucho más los problemas. En 2019, se abrió un enlace submarino de \$1.3 mil millones entre Italia y Montenegro (BGEN, 2019), pero ya es insuficiente. En junio de 2024, un apagón afectó a cuatro países balcánicos, incluyendo Bosnia-Herzegovina y Croacia (EC, 2020).

Según Bloomberg la expansión de la red costará alrededor de \$24.1 billones para cumplir con los objetivos de emisiones netas cero para 2050, superando la inversión necesaria en capacidad de energía renovable (Farhat et al., 2024). Debido a sus extensas áreas y alto consumo de energía, Estados Unidos y China enfrentan las facturas más grandes.

Figura 9: Inversión requerida en la Red Eléctrica.



Fuente: (Farhat et al., 2024).

La AIE, por su parte, estima que, si queremos alcanzar los objetivos climáticos internacionales, se deben agregar y renovar 80 millones de kilómetros de líneas de red para el 2040. La inversión anual a nivel global en actualizaciones relacionadas con la red deberá alcanzar los US\$600 mil millones para el 2030 desde los US\$300 mil millones actuales y luego aumentar a US\$800 mil millones por año entre 2040 y 2050.

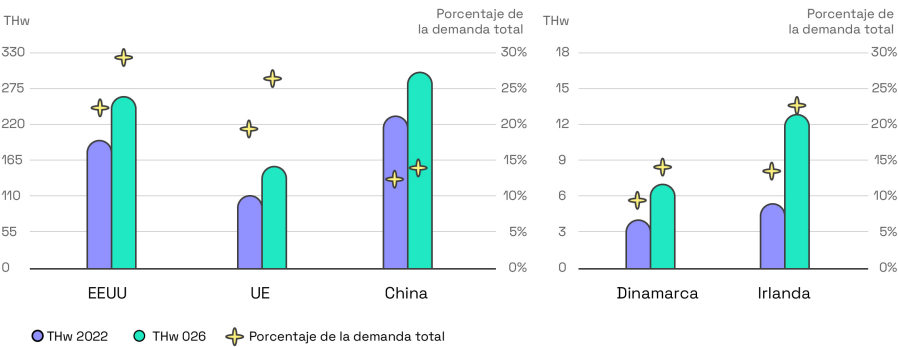
Además, debemos tener en cuenta que la demanda de energía de la IA intensificará esta problemática. Tal y como hemos mencionado previamente, la Agencia Internacional de Energía (AIE) estimó que los centros de datos consumieron alrededor de 460 teravatios-hora de electricidad en 2022, aproximadamente el 1% de la demanda global. Sin embargo, simplemente las búsquedas generativas de IA pueden ser de 10 a 35 veces más intensivas en energía que las búsquedas tradicionales (Luccioni et al., 2024). A medida que la IA se utilice más ampliamente, se estima que la tecnología podría eventualmente representar entre el 2.5% y el 6% de la generación global total.

Y el consumo de energía de la IA tendrá implicaciones regionales aún mayores. Bloomberg New Energy Finance sugiere que el área de Chicago podría ver un aumento del 900% en la demanda de energía de los centros de datos, lo que requeriría la producción de electricidad de cuatro nuevos reactores nucleares. En el mismo estudio, la empresa de servicios públicos Southern Co. predijo que la IA incrementaría sus ventas de electricidad en un 6% anual con un 80% de eso destinado a los centros de datos (Chediak & Sul, 2024).

Toda esta demanda no solo añadirá más presión a la red, sino que también podría hacer que la electricidad sea más costosa. Para satisfacer los requisitos energéticos necesarios para hacer funcionar estos centros de datos, Microsoft, Amazon y muchos otros, todos los cuales cuentan con grandes cantidades de efectivo, harán lo que sea necesario para conectarse a la red y comprar electricidad. Esto puede ser positivo en el sentido de que todo ese gasto permitirá a las empresas de servicios públicos realizar inversiones significativas en infraestructura, pero dado que actualmente las subestaciones transformadoras están en lista de espera de cinco años, llevará años antes de que la oferta se iguale con la demanda. No solo los precios crecientes de la electricidad afectarán a los consumidores, sino que también descartarán desarrollos críticos en hidrógeno verde, amoníaco y cemento, procesos que requieren electricidad y que ralentizarán la transición energética. Tendencias como la electrificación de la economía y el procesamiento intensivo en centros de datos están impulsando la demanda inesperadamente hacia arriba (ver Figura 1). En Irlanda, los centros de datos ya consumen más del 22% de la electricidad total, y se espera que esa cifra suba a un tercio en solo unos pocos años (Jackson, 2023).

En Asia, Malasia está planeando aumentar su capacidad de datos diez veces para 2026 con el objetivo de convertirse en un centro digital crítico, una medida que incrementará el consumo de electricidad hasta un 128%. La IEA predice, tal y como ya hemos mencionado previamente, que para 2026 los centros de datos globales consumirán tanta energía anual como todo Japón. Después de años de crecimiento incremental, para el final de la década, se espera que la demanda de energía de los centros de datos globales crezca alrededor del 15% anualmente (IEA, 2024b).

Figura 10: La participación de los centros de datos en el consumo de energía está aumentando globalmente.

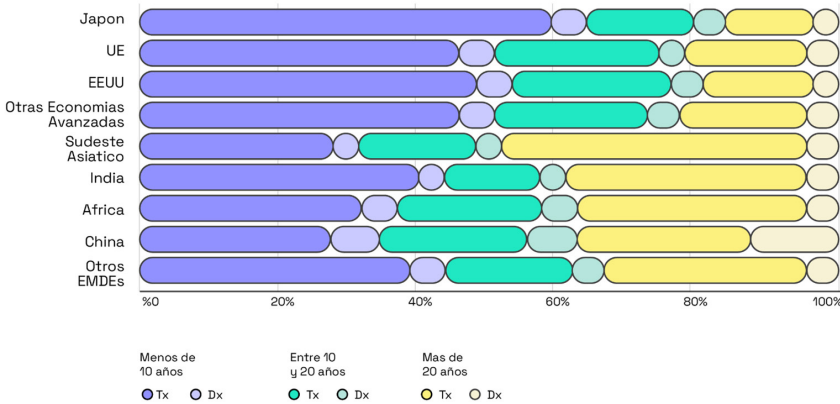


Fuente: IEA, 2023.

Hecho que acentúa la necesidad urgente de una revisión de la Red Eléctrica, ya que la generación de energía está pasando de unidades despachables de plantas de energía centralizadas a unidades intermitentes de sitios renovables descentralizados. Además, tal y como se puede observar en la siguiente figura, la mayoría de las líneas de distribución en los países industrializados tienen más de veinte años de antigüedad.

Figura 11: El gráfico muestra la edad de diferentes partes de la red eléctrica.

La infraestructura de transmisión (Tx) transporta electricidad desde las plantas generadoras. La infraestructura de distribución (Dx) es la última milla hacia los usuarios finales.



Fuente: IEA, octubre 2023.

La oleada de crecimiento asociada a las demandas de la Inteligencia Artificial modifica significativamente las tendencias de consumo de energía, con implicaciones para los centros de datos y las cadenas de suministro de energía globales. La carrera por la Inteligencia Artificial General es, por tanto, hoy en día una carrera por la energía, ya que requiere de la construcción de más centros de datos llenos de chips GPU de última generación que necesitan hasta cinco veces más electricidad que los chips CPU usados para el procesamiento tradicional de centros de datos, lo que nos ofrece una idea general de la tendencia relativa al consumo de energía.

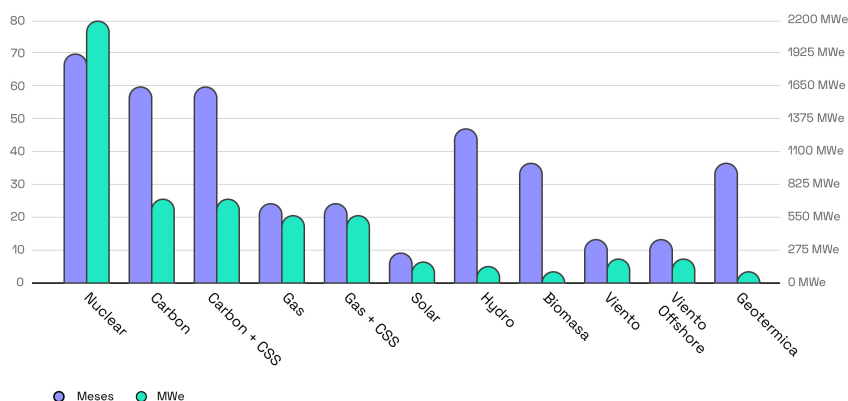
En el caso de Europa, cabe recordar que durante los últimos 15 años la demanda de energía había sido gravemente afectada por varios choques, incluida la crisis financiera global, la pandemia de COVID y la crisis energética por la guerra en Ucrania, además de otros factores como una electrificación más lenta de lo esperado y la desindustrialización continua, que han contribuido a una disminución de la demanda de electricidad de casi un 10% desde su pico en 2008. Si bien, y de cara al futuro, entre 2023 y 2033, gracias tanto a la

expansión de los centros de datos como a una aceleración de la electrificación, la demanda de energía en Europa podría crecer un 40% y quizás incluso un 50%, según Goldman & Sachs Research (Goldman & Sachs, 2024). En este momento, alrededor del 15% de los centros de datos del mundo están ubicados en Europa. Para 2030, las necesidades energéticas de estos centros de datos igualarán el consumo total actual de Portugal, Grecia y los Países Bajos combinados.

Según Goldman and Sachs la demanda de energía de los centros de datos aumentará en dos tipos de países europeos. El primer tipo son aquellos con energía barata y abundante proveniente de fuentes nucleares, hidroeléctricas, eólicas o solares, como los países nórdicos, España y Francia. El segundo tipo incluirá países con grandes empresas de servicios financieros y tecnológicos, que ofrecen exenciones fiscales u otros incentivos para atraer centros de datos. Esta última categoría incluye a Alemania, el Reino Unido e Irlanda (Goldman&Sachs, 2024).

Un estudio reciente de Morgan Stanley mostró que las empresas tecnológicas duplicarían el precio que pagarían a los operadores locales por electricidad para obtener acceso antes que sus competidores. Estos escenarios se están desarrollando globalmente, lo que dificulta enormemente las metas climáticas. Cabe recordar que los gobiernos y las compañías han prometido descarbonizarse para 2050, lo que limita la generación de energía a fuentes de baja emisión de carbono. La energía solar se considera limpia y se construye rápidamente en comparación con otras fuentes de energía. Una granja solar puede construirse en menos de un año, en comparación con casi seis años para una planta nuclear (ver Figura 3). Pero la producción que se requiere es extremadamente elevada.

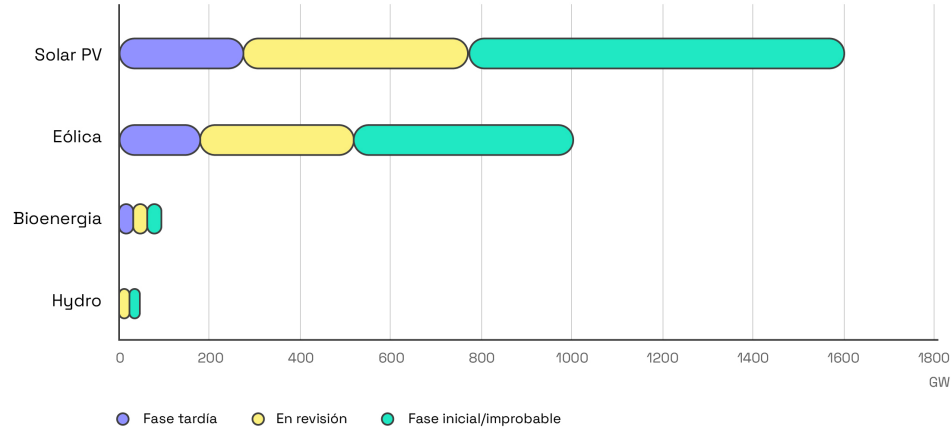
Figura 12: Tiempo de construcción necesario para fuentes de energía (en meses, megavatios de potencia esperados).



Fuente: Lazard, 2021. EIA, 2022.

Además, incluso si se pudieran construir suficientes sitios renovables, la intermitencia de la producción de energía y la fragmentación de la distribución de energía en sitios remotos hacen que las renovables sean inadecuadas para proporcionar una potencia base constante necesaria no solo para los centros de datos, sino para toda la red. Como resultado, las empresas de servicios públicos están combinando renovables con generación de gas natural para equilibrar los objetivos de transición a largo plazo con las demandas a corto plazo (ver Figura 4). El gran número de solicitudes de proyectos renovables que llegan a etapas tardías de estudios de conexión con operadores de redes testifica el fuerte interés de los desarrolladores. Aunque no todos estos proyectos están garantizados a conectarse, los altos niveles de nueva capacidad de aquellos que sí se conectan ejercerán una presión adicional sobre la capacidad de transmisión. Siendo por tanto necesario analizar los impactos que las necesidades de energía de la IA pueden representar para la transición energética.

Figura 13: El interés en las renovables está explotando, presionando la estabilidad de la red.



1. Transición Energética:

«En el centro de los intentos por detener el cambio climático dañino se encuentran un par de ideas: descarbonizar la electricidad y electrificar la economía. Entonces, ¿cómo va todo? Mal, es la respuesta.

“La atmósfera responde a las emisiones, no a las buenas intenciones. En 2023, la producción de electricidad generada por combustibles fósiles alcanzó un pico sin precedentes.” — (Wolf, 2024 p 1)

La carrera por la IAG, ha trastocado todas las agendas, la climática con especial profundidad. Tal y como afirmaba *The Economist* en 2024 *‘Las grandes tecnológicas quieren más potencia informática. Mucha más. Según sus informes trimestrales más recientes, Alphabet (propietaria de Google), Amazon y Microsoft, los gigantes mundiales de la computación en la nube, invirtieron colectivamente \$40 mil millones entre enero y marzo, la mayor parte en centros de datos para hacer frente a la creciente carga de trabajo de la inteligencia artificial (IA). El mes pasado, Meta, que no tiene un negocio en la nube pero sí opera un imperio de redes sociales hambrientas de datos, dijo que su gasto de capital podría llegar a \$40 mil millones este año como resultado de proyectos relacionados con la IA. Eso no está muy lejos de los \$50 mil millones que planea gastar Saudi Aramco, un coloso petrolero. Es probable que Microsoft gaste aún más.’* (The Economist, 2024).

Nos encontramos en un momento crucial que afecta a las condiciones de habitabilidad futuras del planeta y su biodiversidad, así como a la gobernabilidad del sistema. Una encrucijada entre las necesidades de producir más energía y reducir las emisiones de carbono. Cosa que hoy en día parece imposible atendiendo a los requerimientos de la IA, las necesidades de la red eléctrica, y la naturaleza de la producción actual. Cabe señalar que en 2023 las emisiones de carbono por combustibles fósiles han aumentado respecto a años previos representando el nuevo máximo histórico según el observatorio terrestre de la NASA (NASA, 2024).

Los datos de 2023 muestran que las emisiones de combustibles fósiles aumentaron un 1,1 por ciento en comparación con los niveles de 2022, llevando las emisiones totales de combustibles fósiles en 2023 a 36,8 mil millones de toneladas métricas de dióxido de carbono (IEA, 2024a). Al incluir otras fuentes, como la deforestación y la temporada de incendios forestales extremos en Canadá, se estima que las emisiones totales en 2023 fueron de 40,9 mil millones de toneladas métricas. Tanto 2023 como 2022 experimentaron aumentos récord en dióxido de carbono proveniente de combustibles fósiles. *“Las emisiones van en la dirección equivocada que necesitamos para limitar el calentamiento global”* (NASA, 2024). La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado de aproximadamente 278 partes por millón en 1750, el comienzo de la era industrial, a 420 partes por millón en 2023.

Pudiendo así constatar, que no sólo nos encontramos muy lejos de las metas propuestas, sino que cada día que pasa estas se alejan aún más. Una dinámica que se explica debido a las dinámicas geopolíticas explicadas anteriormente, donde la carrera por la IAG se encuentra en el centro de muchas agendas. Es decir, estamos asistiendo a un proceso de erosión ecológica apo-

yado por los estados a través del lineamiento de sectores estratégicos. En un contexto donde los “ejércitos” contendientes no solo los integran soldados, sino un complejo industrial militar compuesto por centros de investigación, universidades y gigantes tecnológicos entre muchos otros, y que debido a la naturaleza de la carrera por la IAG necesitan ingentes cantidades de energía.

Es decir, en el momento actual, y ante la imposibilidad de desarrollar modelos de negocio sostenibles sobre las tecnologías desarrolladas, será el estado a través de diversos tipos de incentivos, fiscales, ecológicos etc. quien soportará el desarrollo de la IA. De la misma forma que será el estado a través de otro tipo de intervenciones sobre el mercado quien intentará proveer de los recursos necesarios para desarrollarla. De esta forma en abril de 2023, un estudio de Stanford encontró una rápida aceleración en el gasto del gobierno federal de los EE. UU. en IA en 2022 (HAI, 2024). Paralelamente, en junio de 2023 se informó que el Comité de Asignaciones de la Cámara de Representantes se estaba enfocando en avanzar en la legislación para incorporar inteligencia artificial (IA) en un número cada vez mayor de programas (Kasperowicz, 2023). En noviembre de 2023, tanto el Departamento de Defensa (DoD) (Clark, 2023) como el Departamento de Estado (DoS) (DoS, 2023) publicaron estrategias de IA, ilustrando que la política está comenzando a ponerse al día con los gastos y potencialmente a moldearlos.

El mes de marzo de 2024 *The Economist* afirmó que la capitalización bursátil de las 100 principales compañías de IA cotizadas sumó un total de US\$8 billones. *“Es una cifra asombrosa, mayor que la capitalización bursátil de las empresas aéreas, farmacéuticas y automotrices globales combinadas. Para una tecnología que en su mayoría es mal entendida y cuyo modelo de negocios no está claro, esto podría ser un destructor de capital histórico. Es esencial que la IA atraiga capital hacia, y no lejos de, la reconstrucción de nuestra red eléctrica global.”* (The Economist, 2024).

En un reciente estudio de Brookings: se revela una refinación y enfoque en la categorización del trabajo de IA, con un aumento significativo en el valor de los fondos obligados y del potencial valor de premio. El DoD destaca como el líder en contratos de IA, seguido por la NASA y el Departamento de Salud y Servicios Humanos. Este crecimiento evidencia un cambio notable en el panorama de contratos de la IA, con el DoD sobresaliendo en este ámbito y marcando una tendencia hacia mayores inversiones en tecnología de inteligencia artificial. Durante el período de estudio, el valor de los fondos obligados aumentó más del 150% de \$261 millones a \$675 millones, mientras que el valor del potencial valor de premio aumentó casi un 1200%

de \$355 millones a \$4.561 mil millones (Larson et al., 2024). En el caso de China se pronostica que la inversión en inteligencia artificial alcanzará los \$38.1 mil millones (273.9 mil millones de yuanes) en 2027, representando el 9 por ciento del total mundial, según un informe reciente de la consultora de mercado IDC (Chi, 2023).

Es decir, la carrera por la IAG, está haciendo avanzar de una forma sin precedentes, una tecnología auspiciada por el Estado, cuya monetización todavía no está clara, pero muestra claros indicios de tener implicaciones profundas para la estructura y superestructura del sistema. Donde los impactos sobre las agendas climáticas resultan paradigmáticos al resaltar una doble erosión a escala planetaria, la ecológica y la institucional. Y donde el caso de las grandes tecnológicas, resulta ejemplificante de las dinámicas actuales.

Así, si analizamos el caso de Google, observaremos que la compañía se había declarado neutral en emisiones de carbono en 2007 (Akshat Rathi, 2024). Si bien, en mayo de 2024, reveló que sus emisiones habían aumentado alrededor del 30 % desde 2020. Según datos de Bloomberg de 2024, en los últimos 5 años, sus emisiones habrían aumentado un 48 % debido fundamentalmente a su desarrollo de inteligencia artificial (Metz, 2024). A esto se suma el hecho de que Google ha finalizado su compra masiva de compensaciones de carbono (offset) y, por lo tanto, ha dejado de afirmar que sus operaciones son neutras en carbono. Según el último informe ambiental de la gigante tecnológica, la empresa ahora tiene como objetivo lograr emisiones netas de carbono cero para 2030.

Otro caso relevante es el de Microsoft, que, a través de una entrevista concedida por su presidente a Bloomberg, reconoció que *“la meta de carbono ‘moonshot’ fue establecida antes del momento de la IA generativa y, como resultado, la luna está cinco veces más lejos de lo que estaba en 2020, si solo piensas en nuestra propia previsión para la expansión de la inteligencia artificial y sus necesidades eléctricas”* (Rathi et al., 2024).

En dicha entrevista, Smith reflejó que las consideraciones climáticas no obstaculizarán la intención de Microsoft de desarrollar de forma intensiva sistemas de IA. Cabe recordar que con su inversión en OpenAI, Microsoft está a la vanguardia del impulso de la IA generativa y también lidera la carga para expandir la capacidad de los centros de datos para habilitarla (Calma, 2024; Chow, 2024). La compañía cuenta con más de 5 gigavatios (GW) de capacidad de servidor instalada, que es más que el consumo de electricidad de Hong Kong o Portugal, y estableció como objetivo interno acelerar significativamente la nueva capacidad con un adicional de 1GW

en la primera mitad del 2024, alcanzando un adicional de 1,5GW que se agregarán solo en la primera mitad del 2025 (P. Marx, 2024). Además, según diversos informes, gastó más de \$50 mil millones en nueva capacidad de centros de datos entre julio del 2023 y junio del 2024.

Unos centros de datos que, tal y como mencionamos previamente, también requieren agua, y cifras ligeramente más antiguas indican que la demanda está aumentando: en 2022 crecieron un 24 % respecto al año anterior (P. Marx, 2024). Así, la demanda de agua de Microsoft aumentó un 34 % en 2022 respecto al año anterior, mientras que el uso de agua de Google aumentó un 20 % en el mismo período. Estas cifras son anteriores a que la IA generativa sacudiera al mundo tecnológico, y es por tanto posible asumir que los aumentos significativos continúan teniendo lugar.

La tendencia es clara, la industria tecnológica se está alineando en priorizar el desarrollo de la IA, a los objetivos climáticos. En enero, Sam Altman le dijo a una multitud en el Foro Económico Mundial que debíamos aumentar enormemente la producción de energía para alimentar la inteligencia artificial, sin importar las consecuencias. Y que podríamos simplemente geoingenierizar el planeta para tratar de minimizar los impactos climáticos (P. Marx, 2024). Elon Musk ha adoptado una línea similar, minimizando la amenaza climática y pidiendo una aceleración de la producción de energía, incluida la de petróleo y gas. En mayo de 2025 afirmó que la inteligencia artificial se quedará sin electricidad y transformadores en el 2025 (Blain, 2024).

Incluso, Bill Gates, se ha sumado a estos discursos. No solo defendiendo la geoingeniería, cosa que ya llevaba años haciendo, ya que se alinea con su postura sobre el cambio climático, basada en que debemos depender de la tecnología en lugar de cambios sociales y políticos para abordar los gases de efecto invernadero, incluso si eso significa sobrepasar los objetivos de emisiones a corto plazo. En el mismo espíritu, recientemente les dijo a gobiernos y ecologistas que ‘no se pasen de la raya’ con las preocupaciones sobre las demandas energéticas de la IA porque ésta permitirá alcanzar nuevas soluciones tecnológicas que realmente reducirán las emisiones totales. (P. Marx, 2024). Siguiendo así la narrativa de las promesas asociadas a la IAG que está alimentando la carrera.

Es necesario, además, mencionar a este respecto la reciente incursión de Bill Gates en el sector de la energía a través de la creación de la empresa BreakThrough Energy, cuya misión define como: *“inspirar al mundo a desarrollar y escalar las soluciones críticas que necesitamos para alcanzar emisiones netas*

cero, para que todos puedan disfrutar de energía limpia, abundante y asequible" (Breakthrough Energy, 2024).

Una empresa que se entiende a partir de las necesidades estructurales de energía por parte de la inteligencia artificial, y que pretende contrarrestar discursos y aproximaciones críticas que ilustren el caos ecológico al que nos puede conducir. Una necesidad y unos discursos que ya comienzan a vincular acceso a servicios con cesiones (muchas de ellas climáticas). Así, y a modo de ejemplo, podemos destacar el caso de Google, quien recientemente ha anunciado que su nuevo centro del sur de Dublín contribuirá indirectamente con 224,250 toneladas de emisiones de CO₂ por año y para el cual no ha presentado ninguna medida de mitigación.

En un informe de planificación presentado por Arup al Consejo del Condado de South Dublin se afirma que el desarrollo propuesto *"se alimentará a través de una conexión existente acordada con Eirgrid"*. En un esfuerzo por reducir el impacto climático del centro de datos planificado y sus operaciones en Irlanda, Arup afirma que Google ha firmado un acuerdo de compra de energía de 14 años con Power Capital Renewable Energy para 58 megavatios (MW) de capacidad nueva para la red proveniente de la granja solar Tullabeg a través de una conexión de red existente. La granja solar está actualmente en construcción, y Arup afirma que *"las proyecciones actuales de GIL indican que, una vez en funcionamiento, este PPA ayudará a sus oficinas y centros de datos en Irlanda a alcanzar un 60 % de energía libre de carbono en 2025 cuando se mide de forma horaria"*. Y, a través de estos mismos documentos, Google ha advertido que, si el proyecto del nuevo centro de datos no progresa, la empresa tendrá dificultades para satisfacer la creciente demanda de sus servicios a sus clientes en la región (Deegan, 2024). Elon Musk, por su parte, también protagonizó en 2024 un conflicto relativo al consumo de energía debido a la proyección de un nuevo centro de datos de 150 MW de su empresa de inteligencia artificial xAI en Memphis, donde la controversia ha afectado la relación entre la empresa de servicios públicos local y el gobierno de la ciudad (Engel, 2024). Pudiendo encontrar otros muchos ejemplos de la presión existente a municipios de todas las regiones para que acepten la construcción de centros de datos y faciliten el aumento de la potencia requerida para operar dichos centros.

Entre cambio climático y carrera por la IA, la prioridad parece estar clara. Primero la carrera y luego el medio ambiente, aunque ello suponga aumentar las emisiones en el corto plazo, y conducirnos un paso más cerca del caos ecológico global. Recientemente, el Washington Post informó que

los ejecutivos de empresas de servicios públicos en los Estados Unidos están presionando al gobierno para retrasar el cierre de las plantas de combustibles fósiles (Halper, 2024; "Internet Data Centers Are Fueling Drive to Old Power Source," 2024).

Las necesidades de la IA y de las tecnologías avanzadas representarán por tanto una transformación profunda del sistema, así como fuertes impactos climáticos, especialmente en los epicentros de la carrera, Estados Unidos y China, donde el sistema eléctrico se presenta como un factor decisivo. Hecho que no nos puede impedir observar que las transformaciones serán profundas y totales. Y aunque no responda al objetivo central del presente estudio, es interesante ejemplificar a través de las regiones remotas que tradicionalmente han estado al margen de las grandes olas de modernización y las cuales en la actualidad también se verán y se están viendo profundamente afectadas por la digitalización y la infraestructura tecnológica avanzada (Chuang, 2018).

Así, y a modo de ejemplo, la minería de Bitcoin en las áreas de Zomia representa un caso claro de cómo las periferias, aunque anteriormente aisladas, ahora están integradas en las redes globales a través de tecnologías disruptivas y sus requerimientos, ya que esta área ha despertado un gran interés en la industria por su capacidad de proporcionar electricidad barata, estructurándose además hoy como laboratorios vivos donde las tensiones entre tradición y modernidad, autonomía e integración tecnológica se hacen evidentes. La intersección de tecnologías avanzadas como la IA y el blockchain con las prácticas culturales indígenas subraya una nueva forma de colonización digital, erosionando lentamente las barreras que mantenían a estas comunidades aisladas, integrándolas, por ejemplo, en complejos circuitos que tienen como objetivo el transporte de GPUs y otros sistemas de alta tecnología a través de rutas estacionales basadas en el acceso a energía barata, incluyendo infraestructuras hidroeléctricas que habían sido abandonadas. Un transporte que se realiza aprovechando su capacidad para ignorar fronteras estatales, dándonos un ejemplo de los profundos impactos que la presente carrera tendrá sobre la totalidad del sistema. Y que, a medida que los centros de poder inviertan en la expansión de infraestructuras esenciales para sostener estas tecnologías disruptivas, es probable que estemos en el umbral de cambios aún más radicales.

No solo se trata de una transformación económica y energética, sino también eco-social, donde las identidades y las prácticas de vida tradicionales estarán en constante negociación e incluso en peligro de desaparecer. Y

donde la modernización, cabe subrayar, no ocurre en un vacío sino que interactúa complejamente con las culturas y los paisajes humanos, llevándonos a ponderar sobre las formas en que las tecnologías emergentes pueden ser a la vez herramientas de emancipación y mecanismos de control. Y aunque este no es el objetivo del presente trabajo, resulta indispensable mencionarlo a fin de poder explicar el tsunami de transformaciones que se cierne sobre nosotros y sobre el planeta.

CONCLUSIONES

Nuestra realidad está a punto de sufrir transformaciones profundas debido a las implicaciones que la carrera por la IA tendrá sobre el sistema, incluyendo el sacrificio de objetivos climáticos en el corto plazo que nos acercarán más aún si cabe al desastre ecológico. Unas transformaciones que serán exponenciales y aceleradas respecto al proceso previo de explosión tecnológica, comprendido entre el inicio de la Segunda Guerra mundial y la Guerra Fría. Nuevos conflictos de naturaleza híbrida surgirán tensionando más si cabe el sistema, lo que conllevará nuevas rupturas en las costuras del derecho internacional, dando lugar a una mayor fragmentación bajo nuevos paradigmas de soberanía digital donde la carrera por la generación de estándares da buena cuenta de la erosión de las dinámicas de la globalización. Unos escenarios cuyo hilo conductor toma forma de tensiones por los recursos básicos que sostienen el desarrollo de la IA, desde semiconductores, a GPU pasando por el agua hasta la energía y la red eléctrica. Donde esta última se erige hoy en día como uno de los principales cuellos de botella en la carrera.

En un escenario ideal, la IA traería consigo una nueva fuente de energía, si bien esto puede tardar en suceder, siendo el escenario más probable a corto plazo que el avance tecnológico nos permita observar ineficiencias en el sistema que requieran todavía una mayor inversión y si la energía renovable no puede soportar el aumento de la demanda, es probable que las empresas se inclinen por mantener el uso de combustibles fósiles.

La carrera por la IA, significará por tanto un revulsivo para políticas y estrategias de electrificación, si bien, y debido a la naturaleza misma de la tecnología y su materialización a ojos del gran público también existe una lógica preocupación de que toda la publicidad en torno a la IA, distraigan el capital de la infraestructura misma que permite que funcione. Eventos como los sucedidos recientemente en Estados Unidos, México, Ecuador, Kuwait, España o India, dan cuenta del precario estado de la Red Eléctrica

en un momento en el que a la incidencia producida por la Inteligencia Artificial Generativa se debe añadir los impactos del cambio climático sobre la misma, generando un escenario altamente tensionado que podría colapsar sino se adecua al contexto. Y donde la antigüedad de la red representa a su vez un foco de preocupación en numerosas regiones, especialmente en aquellas regiones que como Europa o Estados Unidos desarrollaron dichas redes primero.

Es por tanto clave, desde una perspectiva del estado, incentivar, y promover a través de todos los medios a su alcance, para que toda esta demanda resulte en la creación de una red más grande, más resistente y mucho más sostenible. Es imprescindible, desde un punto de vista tanto geopolítico, como climático, que se produzcan dinámicas de inversión por parte de los proveedores de energía, similares a lo hicieron las compañías de redes a finales de los años 90 y principios de los años 2000. Cuando se comprendió que la base de la nueva economía era el acceso a internet. Ahora, apenas un cuarto de siglo más tarde, un esfuerzo mucho más grande es requerido si queremos avanzar en el desarrollo de la IA, y no destruir el planeta ni la resiliencia de nuestras sociedades en el intento. Necesitamos que las inversiones, y la regulación faciliten una aceleración exponencial de la transición energética, tanto a través de la innovación como el despliegue de energías renovables. Asimismo, debemos observar cuales son los límites reales de elasticidad del sistema, a fin de preservar los equilibrios naturales, como responsabilidad primera y última. Ya que no debería ser interés para ninguno de los contendientes el gobernar un planeta que ha superado su umbral de resiliencia.

REFERENCIAS

Rathi, Akshat (2024, 8 de julio), “Google Is No Longer Claiming to Be Carbon Neutral”, Bloomberg.

Aschenbrenner, Leopold (2024), *The Decade Ahead. In Situational Awareness, Situational Awareness*.

Averbuch, Michael; Squires, S. (2024, 16 de abril), “Sheinbaum planea gastar miles de millones en plantas solares y de gas”, Bloomberg.

Ballbé, Manuel (2007), “El futuro del derecho administrativo en la globalización: entre la americanización y la europeización”, *Revista de Administración Pública*, 74, págs. 215-276.

Barnes, Trevor J.; Farish, Matthew (2006), "Between Regions: Science, Militarism, and American Geography from World War to Cold War", *Annals of the Association of American Geographers*, 96(4), págs. 807-826, <https://doi.org/10.1111/J.1467-8306.2006.00516.X>

BBC (2024, 20 de junio), "Ecuador recupera el suministro eléctrico tras un apagón masivo que dejó sin luz a 18 millones de personas", BBC.

Balkan Green Energy News (BGEN) (2019, 15 de noviembre), "Italy-Montenegro undersea power interconnector put in operation", Balkan Green Energy News.

The Economist (2024, 5 de mayo), "Big tech's great AI power grab", The Economist.

Copeland, B. J. (2018), "Artificial intelligence | Definition, Examples, and Applications | Britannica.com", *Encyclopedia Britannica*, <https://www.britannica.com/technology/artificial-intelligence>

Blain, Loz (2024, 1 de marzo), "Elon Musk: AI will run out of electricity and transformers in 2025", The Atlas.

Bostrom, Nick (2005), "A history of transhumanist thought", *Journal of Evolution and Technology*, 14(1), págs. 1-25.

Breakthrough Energy (2024, 15 de julio), Breakthrough Energy.

Broughton, Edward (2005), "The Bhopal disaster and its aftermath: a review", *Environmental Health*, 4(1), 6, <https://doi.org/10.1186/1476-069X-4-6>

Brown, Troy (2011), "The American and Soviet Cold War space programs", *Comparative Strategy*, 30(2), págs. 177-185, <https://doi.org/10.1080/01495933.2011.561736>

Bull, Hedley (2012), *The Anarchical Society. A Study of Order in World Politics*, Palgrave Macmillan, <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dskcBQAAQBAJ&...>

Calma, Justine (2024, 16 de mayo), "Microsoft's AI obsession is jeopardizing its climate ambitions", The Verge.

Carlucci Aiello, Luigia (2016), "The multifaceted impact of Ada Lovelace in the digital age", *Artificial Intelligence*, 235, págs. 58-62, <https://doi.org/10.1016/j.artint.2016.02.003>

CBRE (2024), Global Data Center Trends 2024.

Chediak, Mark; Sul, J. (2024, 18 de abril), "AI-Driven Power Demand Is Set to Jump 900% in Chicago Area, Exelon CEO Says", Bloomberg.

Chi, S. (2023, 23 de agosto), "China's investment in AI expected to reach \$38.1b in 2027", China Daily.

Chow, Andrew (2024, 12 de junio), "How AI Is Fueling a Boom in Data Centers and Energy Demand", Time.

Chuang, L. (2018), "Bitcoin Mining and Field Recordings of Ethnic Minorities", TATE.

Clark, J. (2023, 2 de noviembre), "DOD Releases AI Adoption Strategy", DoD.

CNBC (2017), "Putin: Leader in artificial intelligence will rule world", CNBC, <https://www.cnbc.com/2017/09/04/putin-leader-in-artificial-intelligence-will-rule-world.html>

Csányi, Vilmos (1989), *Evolutionary Systems and Society: A General Theory of Life, Mind, and Culture*, Duke University Press.

Curtis, S.; Klaus, I. (2024), *The Belt and Road City: Geopolitics, Urbanization, and China's Search for a New International Order* (1.^a ed.), Yale.

DCD (2023, 26 de julio), "Thames Water may restrict London data centers" water use», DCD.

Deegan, Gordon (2024, 4 de julio), «Planned Google data centre will create almost quarter million tonnes of carbon emissions», The Irish Times.

Dell'Oro Group (2023, 23 de febrero), «Global Data Center Capex to Reach \$400 Billion by 2027, According to Dell'Oro Group», Dell'Oro Group.

Department of State (DoS) (2023, 9 de noviembre), «The Department of State Unveils its First-Ever Enterprise Artificial Intelligence Strategy», Department of State US.

Dunlap, Charles J. (2011), «The Military-Industrial Complex», *Daedalus*, 140(3), págs. 135-147, https://doi.org/10.1162/DAED_a_00104

European Commission (EC) (2020), Montenegro 2020 Report.

Ellul, Jacques; Wilkinson, J.; Merton, R. (1964), *The technological society*, Random House.

EMSD (2022), Hong Kong Energy End-use Data 2021.

ENEL (2024, 16 de mayo), «Space, the new frontier of photovoltaics», ENEL.

Copilots (2024, 25 de abril), «Energy is the key bottleneck for AI in the next few years», Copilots.

Engel, John (2024, 11 de julio), «City council squabbles with utility over Elon Musk's data center plan», Power Grid International.

EPRI (2024), Powering Intelligence: Analyzing Artificial Intelligence and Data Center Energy Consumption.

European Commission (2024, 15 de julio), «European approach to artificial intelligence», European Commission.

Farhat, E.; Savic, M.; McDonald, F.; Chediak, M. (2024, 15 de julio), «The World's Power Grids Are Failing as the Planet Warms», Bloomberg.

Flores, N.; McBrien, H.; Do, V.; Kiang, M.; Schlegelmilch, J.; Casey, J. (2022), «The 2021 Texas Power Crisis: distribution, duration, and disparities», Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology.

Fulco, M. (2023, 7 de septiembre), «Taiwan's "silicon shield" against China is an illusion», Japan Times.

Goldman Sachs (2024, 14 de mayo), «AI is poised to drive 160% increase in data center power demand», Goldman Sachs.

Griffy-Brown, Charla (2012), «Examining the promise and perils of technology in society», Technology in Society, 34(2), págs. 107-108, <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2012.04.001>

Hage, J.; Hollingsworth, R.; Fukuyama, F. (2006), «The End of History and the Last Man», Contemporary Sociology, 22(2), Simon and Schuster, <https://doi.org/10.2307/2075746>

HAI (2024), The AI Index Report: Measuring Trends in AI.

Halper, Evan (2024, 10 de julio), «A nuclear accident made Three Mile Island infamous. AI's needs may revive it», The Washington Post.

Hintze, A.; Edlund, J. A.; Olson, R. S.; et al. (2017), Markov Brains: A Technical Introduction.

Hung, S. (2024), Taiwan's Silicon Shield.

Hussain, A. (2024, 23 de febrero), «The Jevons Paradox in the Age of Generative AI», Medium.

Ichikawa, Hiroshi (2018), Soviet Science and Engineering in the Shadow of the Cold War, págs. 1-195, <https://doi.org/10.4324/9781315148199/SOVIET-SCIENCE-ENGINEERING-SHADOW-COLD-WAR-HIROS-HI-ICHIKAWA>

IDAE (2021), Estudios del consumo de los hogares españoles (Serie SPAHOUSEC), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

IEA (2024a), CO2 Emissions 2023, International Energy Agency.

IEA (2024b, 18 de julio), Data Centres and Data Transmission Networks, International Energy Agency.

The Washington Post (2024, 17 de abril), «Internet data centers are fueling drive to old power source», The Washington Post.

Irish, J.; Pineau, E.; Bate, F. (2023, 21 de junio), «France targets Russian and Wagner disinformation in Africa», Reuters.

Jack, Victor (2023, 23 de noviembre), «Europe's grid is under a cyberattack deluge, industry warns», Politico.

Jackson, A. (2023, 19 de junio), «Republic of Ireland data centre electricity has risen 400%», Data Centre Magazine.

JRC (2024), Energy Consumption in Data Centres and Broadband Communication Networks in the EU.

The Economist (2024, 17 de marzo), «Just how rich are businesses getting in the AI gold rush?», The Economist.

Kasperowicz, P. (2023, 30 de junio), «Congress pushes aggressive use of AI in the federal government, says AI “under-utilized” in agencies» [Broadcast], Fox News.

Keohane, Robert; Nye, Joseph (1998), «Power and interdependence in the information age», Foreign Affairs, 77, p. 81, <https://heinonline.org/...>

Kilgore, G. (2024, 29 de marzo), «NFT Carbon Footprint Calculator: Comparison of NFT Carbon Emissions», 8billiontrees.

Kluth, Andreas (2023, 26 de octubre), «China Uses Fentanyl for War With US by Other Means», Bloomberg.

Kojevnikov, Alexei (2008), «The phenomenon of Soviet Science», *Osiris*, 23(1), págs. 115-135, <https://doi.org/10.1086/591871>

Kurz, H.; Zliian, S.; Strohmaier, R. (2018), «Riding a new wave of innovations. A long-term view at the current process of creative destruction», *Wirtschaft und Gesellschaft*, 4(44).

Larson, J.; Denford, J.; Dawson Gregory; Desouza, K. (2024), The evolution of artificial intelligence (AI) spending by the U.S. government.

LAZARD (2023), The Geopolitics of Artificial Intelligence.

Luccioni, S.; Jernite, Y.; Strubell, E. (2024), «Power Hungry Processing: Watts Driving the Cost of AI Deployment?», The 2024 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, págs. 85-99, <https://doi.org/10.1145/3630106.3658542>

MacDonald, F. (2024, 20 de junio), «Kuwait Warns of More Power Cuts as Struggle With Heat Worsens», Bloomberg.

Makdoun, E.; Pietrobon, E. (2024, 4 de abril), «Fentanyl and China. Behind the Third Opium War», *Centro Studi Politici Strategici Machiavelli*.

Martínez-Quirante, R.; Rodríguez-Álvarez, J. (2020), «El lado oscuro de la Inteligencia artificial», *IDEES*, 48, <https://revistaidees.cat/es/el-lado-oscuro-de-la-inteligencia-artificial/>

Martínez-Quirante, R.; Rodríguez-Álvarez, J. (2018), *Inteligencia artificial y armas letales autónomas: un nuevo reto para Naciones Unidas*, Trea.

Marx, Leo (1964), *The Machine in the Garden: Technology and the Pastoral Ideal in America*, Oxford University Press.

Marx, P. (2024, 5 de julio), «Generative AI is a climate disaster», *Disconnect*.

McKinsey & Company (2023, 17 de enero), «Investing in the rising data center economy», McKinsey & Company.

Mehta, Sourabh (2024, 3 de julio), «How much energy do LLMs consume? Unveiling the Power behind IA», *The Associations of Data Scientist*.

Metz, Rachel (2024, 2 de julio), «Google's Emissions Shot Up 48% Over Five Years Due to AI», Bloomberg.

Mims, Christopher (2023, 15 de diciembre), «AI Is Ravenous for Energy. Can It Be Satisfied?», The Wall Street Journal.

NASA (2024, 15 de marzo), «Emissions from Fossil Fuels Continue to Rise», NASA Earth Observatory.

Needell, Allan A. (2013), Science, Cold War and the American State, <https://doi.org/10.4324/9780203727416/SCIENCE-COLD-WAR-AMERICAN-STATE-ALLAN-NEEDEL>

NERC (2024, 15 de julio), NERC.

Noble, G.; Berry, F. (2024, 8 de julio), «Power-hungry AI is driving a surge in tech giant carbon emissions. Nobody knows what to do about it», The Conversation.

Parrow, Charles (1984), Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies, Princeton University Press.

Peterson Institute for International Economics (2024, 11 de julio), «US-China Trade War», Peterson Institute for International Economics.

Pollock, Ethan (2006), Stalin and the Soviet Science Wars, <https://doi.org/10.1515/9781400843756/HTML>

Ponce, S. (2024), «Presenta Municipio de Delicias quejas ante CFE por constantes apagones», El Heraldo de Chihuahua.

Project Syndicate (2024, 10 de mayo), «The US-China Trade War Heats Up», Project Syndicate.

Rathi, A.; Bass, D.; Rao, M. (2024, 23 de mayo), «Microsoft Wanted to be Carbon Negative. Then It Went Big on AI», Bloomberg.

Redacción (2024), «Ecuador anuncia nuevos cortes eléctricos por el riesgo de daño en una central hidroeléctrica», El Periódico de la Energía.

CNBC / Reuters (2024, 22 de junio), «U.S. is closer to curbing investments in China's AI, tech sector», CNBC.

Rodríguez, Joaquín (2016), La civilización ausente: Tecnología y sociedad en la era de la incertidumbre (1.^a ed.), Trea.

Russell, Stuart J.; Norvig, Peter; Davis, Ernest (2010), *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (3rd edition), Pearson.

Shiva, Vandana (2016), *The Violence of the Green Revolution: Third World Agriculture, Ecology, and Politics*, University Press of Kentucky.

Siddiqi, Asif A. (2000), *Challenge to Apollo: The Soviet Union and the Space Race, 1945-1974*, <https://books.google.es/books?...>

SMA (2020), «Electrical Distribution System in a Data Center», *Green Data Center Design and Management*, <http://green-data.blogspot.com/2020/03/electrical-distribution-system-data-center.html>

Smith, Neil (2019), *American Empire*, <https://doi.org/10.1525/9780520931527>

Strategy, T. B.—C.; 2011, undefined (s. f.), «The American and Soviet cold war space programs», Taylor & Francis, <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01495933.2011.561736>

Studer, M. (2023, 6 de noviembre), «The energy challenge of powering AI chips».

Suleyman, Mustafa (2023), *The Coming Wave: Technology, Power, and the Twenty-First Century's Greatest Dilemma*, <https://books.google.es/books?...>

The National (2024, 24 de junio), «Kuwait warns of systematic power cuts amid heatwave», The National.

Torrens, F.; Castellano, G. (2019), «Manhattan Project, Atoms for Peace, Nuclear Weapons, and Accidents», en *Molecular Chemistry and Biomolecular Engineering*, Apple Academic Press.

Trueman, C. (2024a, 22 de marzo), «US government still investigating alleged chip sanctions breach by SMIC», DCD.

Trueman, C. (2024b, 23 de abril), «Chinese institutions acquired Nvidia AI chips despite US export ban — report», DCD.

Turing, Alan M. (2009), «Computing Machinery and Intelligence», en *Parsing the Turing Test*, págs. 23-65, Springer Netherlands, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6710-5_3

Ulnicane, A. (2022), «Artificial intelligence in the European Union», en *The Routledge Handbook of European Integrations*, págs. 254-269, Routledge, <https://doi.org/10.4324/9780429262081-19>

World Economic Forum (WEF) (2018, 16 de abril), «How technology has changed the world of work», World Economic Forum.

World Economic Forum (WEF) (2024, 20 de enero), «Artificial Intelligence: The Geopolitical Impacts of AI», World Economic Forum.

Wolf, Martin (2024), «Market forces are not enough to halt climate change», Financial Times.

Wolfe, Audra (2013), *Competing with the Soviets: Science, Technology, and the State in Cold War America*, <https://books.google.es/books?...>

Wyeth, Grant (2024, 24 de junio), «Energy at the Crux of Australia-Taiwan Relations», The Diplomat.

Xu, Z.; Jain, S.; Kankanhalli, M. (2024), *Hallucination is Inevitable: An Innate Limitation of Large Language Models*, National University of Singapore.

Yosie, Trevor (2024, 8 de julio), «AI data centers are undermining climate solutions», GreenBiz.

Zhang, Michael (2024, 17 de enero), «Data Center Water Usage: A Comprehensive Guide», *Dgtl Infra*.

El uso de la inteligencia artificial como instrumento en la gestión de las sociedades de capital

FRANCISCO JAVIER ARIAS-VARONA

Catedrático de Derecho Mercantil. Universidad Rey Juan Carlos

ANDRÉS RECALDE-CASTELLS

Catedrático de Derecho Mercantil. Universidad Autónoma de Madrid

SUMARIO: 1. INTRODUCCIÓN. 2. GOBIERNO DE SOCIEDADES Y USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: SU PROYECCIÓN SOBRE LOS DEBERES DE LOS ADMINISTRADORES (CORPTECH). 2.1. *Planteamiento*. 2.2. *La IA, el deber de diligencia y la regla de la discrecionalidad empresarial*. 2.3. *La IA y el deber de lealtad de los administradores*. 2.4. *El uso de la IA y la persecución de objetivos ajenos a los fines lucrativos de los socios. el caso de las misiones u objetivos (purposes) de carácter no lucrativo*. 3. EL CONTROL DEL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA IA COMO INSTRUMENTO PARA CONTROLAR EL FUNCIONAMIENTO DE LA EMPRESA. 3.1. *Deberes de control con relación al uso de la IA*. 3.2. *El uso de la IA como herramienta para favorecer la vigilancia y el adecuado control del riesgo de la empresa*. 4. EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE MEJORA EN LA COMPOSICIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN. 4.1. *El uso de la IA en la selección de candidatos a administradores: en particular su utilidad para valorar el mérito, conocimientos técnicos y la diversidad de los consejeros*. 4.2. *Ni el uso de la IA ni sus propuestas relativas al nombramiento de administradores deben considerarse vinculantes*. 5. LA IA COMO INSTRUMENTO AUTÓNOMO EN LA TOMA DE DECISIONES (ROBO-DIRECTORS). CONCLUSIONES. REFERENCIAS.

Resumen

El capítulo analiza, desde un enfoque jurídico y doctrinal el impacto de la inteligencia artificial en la gobernanza de las sociedades de capital, partiendo de los deberes de diligencia y lealtad de los administradores, examinando cómo la adopción de herramientas algorítmicas reconfigura la discrecionalidad empresarial, la gestión de riesgos y el sistema de cumplimiento, así como los conflictos de interés derivados del diseño, entrenamiento y uso de sistemas de IA. El estudio delimita el marco positivo aplicable, fija criterios para la motivación y trazabilidad de las decisiones asistidas por IA y propone estándares de documentación, auditoría y supervisión para preservar la independencia de juicio del órgano de administración.

Sobre esa base, el texto aborda implicaciones organizativas, de selección y cualificación del consejo, arquitectura de controles, funciones del comité de auditoría y compliance, explorando escenarios emergentes como hipótesis regulatoria de alcance limitado. La conclusión se orienta a que la integración de la IA puede elevar la calidad decisoria y la eficiencia siempre que se inserte en un marco de gobernanza sólido, con responsabilidades claramente asignadas, trazabilidad técnica y jurídica de los algoritmos, y mecanismos que aseguren la primacía del juicio humano, la transparencia y la tutela efectiva de los intereses sociales y de los terceros.

Abstract

The chapter analyses, from a legal and doctrinal perspective, the impact of artificial intelligence on the governance of companies limited by shares. Taking the directors' duties of care and loyalty as its point of departure, it examines how the adoption of algorithmic tools reshapes managerial discretion, risk management, and the compliance system, as well as conflicts of interest arising from the design, training, and use of AI systems. The study delineates the applicable positive-law framework, sets criteria for the reasoning and traceability of AI-assisted decisions, and proposes standards for documentation, audit, and oversight to preserve the independence of the board's judgement.

Building on this basis, the text addresses organisational implications, board selection and qualifications, control architecture, and the roles of the audit and compliance committee, while exploring emerging scenarios as regulatory hypotheses of limited scope. It concludes that integrating AI can enhance decision quality and efficiency provided it is embedded within a robust governance framework, with clearly assigned responsibilities, technical and legal traceability of algorithms, and mechanisms that ensure the primacy of human judgement, transparency, and the effective protection of corporate and third-party interests.

Palabras clave

Derecho societario; inteligencia artificial; discrecionalidad empresarial; deber de diligencia; consejo de administración; supervisión humana.

Key words

Corporate law; artificial intelligence; managerial discretion; duty of care; management board; human oversight.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de la inteligencia artificial (IA) ha experimentado una progresiva generalización en múltiples aspectos de la vida. Uno de los fenómenos de mayor interés es el que atiende a su impacto en la actividad económica y, en particular, en la gestión de las empresas. En tal caso, se proyecta sobre las decisiones que toman los administradores de las sociedades en el ejercicio de sus funciones corporativas. En el presente trabajo focalizaremos nuestra atención en el ámbito de sus obligaciones y, eventualmente, en el de su responsabilidad por incumplir aquellas cuando, con ello, causan daños.

En una primera aproximación, el uso de la IA puede causar cierta desconfianza por las dificultades de aprehensión de un fenómeno cuyo alcance aún nos es desconocido e, incluso, puede resultar intimidante. Pero ello no debería ser motivo de una preocupación excesiva. Sin perjuicio de diferencias de detalle, su primera y principal utilidad no resulta muy diferente a la que en su momento proporcionaron los primeros avances en la informática y en las tecnologías de la información y comunicación, incluyendo el mismo uso del ordenador. Los computadores fueron creados para procesar la información, es decir, comprenderla, estructurarla y analizarla, lo que los acerca a la realidad de la IA (*nihil novum sub sole*). Pero el manejo de la información dio un salto cualitativo con la llegada de internet. Posteriormente, aumenta de forma exponencial la capacidad de recepción y cálculo de un ingente volumen de información, cuyo acceso han facilitado las redes y las nuevas tecnologías (*big data*).

Esta circunstancia es el trampolín del salto cualitativo que supone la IA. Aunque también es una herramienta que gestiona información y la presenta en modo sintético, en sus versiones más avanzadas ofrece también respuestas a esa información en función de unos objetivos predeterminados. Sobre esta base, puede generar conocimiento a partir de procedimientos correlativos y es capaz de tomar decisiones con autonomía.

Por tanto, lo que la IA aporta frente a lo que hasta ahora era conocido tiene que ver tanto con su aptitud para proporcionar el conocimiento de mucha mayor cantidad de información, como con la posibilidad de ordenarla a un nivel muy superior y su capacidad para generar conocimiento nuevo a partir de esas tareas previas. En efecto, la IA ya no puede tratarse solo como una fuente más de información; se trata de una tecnología óptima para procesar ese gran volumen de datos y que puede ofrecer nueva información.

El proceso es conocido: dispositivos digitales recogen información que luego procesan algoritmos con capacidad de aprendizaje autónomo (*machine learning*), lo que permite trazar relaciones y clasificaciones. En este sentido son máquinas que van más allá de una mera dimensión de ejecutar órdenes externas, en la medida en que están en disposición de aprender a través de la experiencia y de la interacción (desde la *self-learning* hasta la *affective computing*), adecuando su comportamiento y la toma de decisiones al ambiente sobre el que operan. Así, pueden actuar o reaccionar a nuevas situaciones que ya son distintas de aquellas para las que inicialmente fueron programadas.

Así pues, la IA constituye, en primer lugar, una herramienta óptima desde el punto de vista de la información y su análisis y estructuración crítica. Observada como un instrumento para la toma de decisiones, es obvia la conexión con la relevancia de la información para cualquier adopción de medidas por los administradores. Cuanta más información esté disponible para estos, mayor será la posibilidad de que alcancen una decisión final acertada; cuanto mejor pueda ser procesada, comprendida y racionalizada esa información, mejores serán las decisiones adoptadas. Por ese motivo, el mayor beneficio del empleo de esta tecnología por los administradores debería obtenerse respecto de las decisiones más complejas o dependientes de un mayor volumen de datos. No es de extrañar, por ello, que la IA se emplee en modelos de gestión que proponen los asesores en inversión más importantes y que algunos de los fondos de mayor relevancia la empleen en sus decisiones de inversión o desinversión.

Desde la perspectiva jurídico-empresarial, que es la que interesa aquí, lo que se acaba de indicar proyecta su sombra inevitable sobre el deber de diligencia de los administradores, codificado en el art. 225 de la Ley de Sociedades de Capital (LSC), que presupone que aquellos disfrutan, al tomar decisiones, de una información adecuada. Pero el impacto de la IA excede de ese limitado ámbito, para extenderse también a sus obligaciones de cumplimiento normativo, de establecer una organización corporativa

adecuada y de gestionar en atención al interés social, liberados de interferencias vinculadas a sus intereses particulares (v. los arts. 227 y sigs. LSC). Todo ello, en fin, afectará a la responsabilidad asociada al incumplimiento de esa función gestora típica de los administradores. La pregunta crítica, por tanto, es si el uso de IA será, si no lo es ya, una condición indeclinable para el adecuado cumplimiento de los deberes de los administradores.

En estas páginas se pondrá el foco de atención en el uso de la IA en la toma de decisiones de gestión en las sociedades de capital, o, para mejor decir, en su utilización por las personas físicas que actúan como administradores de sociedades, que, a su vez, son las titulares de una empresa. En este plano, es clara la importancia de la IA como apoyo instrumental de los administradores en la gestión de la sociedad y de la empresa (*robo-advisor*). Pero cabría incluso imaginarse un órgano de administración totalmente desprovisto de administradores humanos (*robo-board*), en el que las decisiones serían tomadas directamente por la IA. A este escenario solo nos referiremos tangencialmente, pues es un fenómeno incipiente y excepcional, salvo en ciertos sectores y respecto de determinadas decisiones, especialmente en el ámbito de la inversión.

La IA es una valiosa herramienta de ayuda en la adopción de decisiones por los administradores en los dos planos en que se desarrolla su gestión: el empresarial y el corporativo. Advirtamos, desde este momento, que el grado de integración de la IA dependerá del tipo de sociedad, de su naturaleza y dimensiones, de la actividad a la que se dedica la empresa, todo lo cual obligará a calibrar en cada caso el aparato tecnológico en relación con la configuración organizativa y las oportunidades ofrecidas por la automatización y los límites normativos procedentes. Con esta salvedad, es obvio que la IA resultará útil para los administradores a la hora de tomar decisiones de gestión empresarial (como compras de bienes o servicios, decisiones de inversión, apertura de nuevas líneas de producción, o mercados, etc.). Pero no puede ignorarse su utilidad para la mejor organización de la corporación, en aras de garantizar un «funcionamiento adecuado» y del establecimiento de «controles» que adviertan de los riesgos inherentes a la actividad. La correcta gestión de la sociedad y su vigilancia y monitorización, en el marco de lo previsto en el artículo 225.2 LSC, puede verse muy beneficiada por la incorporación de sistemas de IA (lo que se ha calificado, gráficamente, como *CorpTech*).

En este plano de la organización corporativa, la relevancia de la IA se proyecta sobre múltiples aspectos: (i) en el funcionamiento interno del

consejo de administración y, en particular, en relación con el deber de diligencia, incluyendo el control de riesgos y el cumplimiento normativo; (ii) para crear sistemas objetivados de selección de administradores en consideración a su capacidad y a sus perfiles diversos, que hoy viene obligado cuando la ley impone una composición plural de los consejos de administración que al menos cumpla con la diversidad de género (Ley Orgánica 2/2024, de 1 de agosto, de representación paritaria y presencia equilibrada de mujeres y hombres); (iii) para diseñar y aplicar sistemas de remuneración de los ejecutivos que limite el riesgo de conflictos de interés o que garantice su proporcionalidad en función de la importancia de la sociedad, su situación económica y los estándares de mercado de empresas comparables (art. 217.4 LSC); (iv) para facilitar las relaciones con inversores; o (v) para incentivar la participación de los socios y la votación a distancia en la junta.

Pero las múltiples ventajas que derivan del uso de la IA en la administración de las sociedades de capital, no pueden hacer olvidar sus riesgos específicos. En este plano, los administradores deben ser conscientes de cómo el empleo de esta herramienta puede generar nuevas formas de infracciones normativas, que la sociedad ha de afrontar en el marco del deber de establecer sistemas de control y de cumplimiento normativo, en definitiva, del deber de los administradores de cumplir y hacer que la sociedad cumpla con la legalidad (artículo 225.1 LSC).

A nivel metodológico, este estudio adopta un enfoque jurídico, doctrinal y normativo analítico sobre la incidencia de la inteligencia artificial en la gobernanza societaria, para lo que emplea el análisis de derecho positivo y de la literatura académica especializada, con estudio de problemas dogmáticos como el deber de diligencia y lealtad, la discrecionalidad empresarial y los conflictos de interés; y de implicaciones organizativas como la selección de consejeros, el control de riesgos y el compliance.

Sobre la base de lo expuesto, el presente trabajo se ocupará, primero, de la proyección del uso de la IA sobre los deberes inherentes a los administradores (II), a continuación, de la relación que existe entre la IA y los deberes de control (III), para seguir con un análisis del modo en que la IA puede mejorar la selección de los administradores en función de los objetivos perseguidos por la sociedad (IV), terminando con una breve referencia a los sistemas de administración totalmente autónomos (V). El trabajo se cerrará con un apartado en que se recogen las conclusiones principales que se han alcanzado.

2. GOBIERNO DE SOCIEDADES Y USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: SU PROYECCIÓN SOBRE LOS DEBERES DE LOS ADMINISTRADORES (CORPTECH)

2.1. PLANTEAMIENTO

La introducción precedente permite observar que la adopción de la IA ha pasado a jugar un papel decisivo para garantizar el cumplimiento de los deberes inherentes a la gestión de la sociedad. La afirmación es válida tanto respecto del deber de diligencia, como del de lealtad, aunque resulta más visible en el primero de ellos.

En la actualidad, el recurso a la IA como herramienta de apoyo a la gestión de las sociedades es una realidad ineludible. Su utilidad está fuera de toda duda en cualquier ámbito o sector: avances médicos y tecnológicos, predicciones climáticas, nuevas tendencias sociológicas o de consumo, aparición de nuevos servicios o formas de presentar esos servicios, etc. Los ejemplos propuestos son trasladables a muchos otros ámbitos, lo que obliga a cuestionarse si el empleo de la IA ha dejado de ser una mera posibilidad a disposición de los administradores, para constituir una obligación que condiciona el mismo gobierno corporativo. De ser así, la implementación de la IA en la gestión de la empresa no solo sería una herramienta para mejorar la eficiencia en la toma de decisiones, sino que ignorarla repercutiría sobre la responsabilidad de los administradores. La respuesta a esta cuestión no puede ser de trazo grueso, pues, como suele decirse, el diablo está en los detalles.

Es difícil aceptar que el empleo de este recurso ya sea ineludible en las decisiones de gestión. La elección de decisiones de gestión requiere cierta flexibilidad para poder atender a circunstancias cambiantes, así como un elemento de comunicación y persuasión, en el que la intuición es fundamental. Esto es así, porque en la gestión siempre existe un elemento empresarial que la IA, tal y como la conocemos ahora, puede no llegar a comprender. La gestión puede reclamar una conducta de los gestores, que reclama espontaneidad, y que a veces es irracional e imprevisible, pero que la IA no aporta. Este aporte estrictamente humano es, en último caso, un elemento diferencial y un valor añadido, al que en ocasiones se vincula, a menudo, el mismo éxito de una decisión de empresa. En ese caso, ya no es solo que la IA no sería necesaria, sino que, incluso, podría considerarse contraproducente y prescindible.

Pero, además, incluso si se llegara a sostener la necesidad del recurso a la IA por los administradores en la gestión social, ello no agotaría sus

obligaciones. En ningún caso cabe imaginar que los administradores pudiesen considerarse plenamente «liberados» de sus deberes, invocando que la decisión la tomaron de acuerdo con el recurso a la IA.

Lo dicho, en todo caso, no puede ocultar la realidad presente en los dos planos en los que se manifiesta la labor de los administradores y que ya se han anticipado en la introducción: la gestión de la empresa y la gestión de la sociedad, como institución. El empleo de esta herramienta en la gestión empresarial puede constituir una estricta necesidad en el marco de la diligencia de los administradores, en particular si se tiene en cuenta su potencialidad para analizar situaciones complejas, proponer estrategias o sugerir soluciones o planteamientos alternativos. Así, considérese, simplemente, que el empleo de la IA permite analizar datos financieros y facilitar la adopción de la decisión óptima en términos de financiación. Por proponer otra alternativa, el análisis de modelos de información promedio para predecir el clima que se puede producir en los próximos meses, puede ser una herramienta imprescindible para un empresario agrícola o para un fabricante que se dedica producir gafas de sol. En fin, la IA puede servir para generar productos o servicios digitales atípicos que se ofrecen al público en el sector financiero o de los servicios de pagos, para ser negociados en la «sombra» o al margen de la supervisión regulatoria.

Para la gestión corporativa, la utilización de la IA también puede ser conveniente o imprescindible. En particular puede ser extremadamente útil, si no imprescindible, en la auditoría contable o financiera, o en el mero control o supervisión internos de las estructuras corporativas y de cumplimiento normativo, y cuya realización recae sobre el pleno del consejo de administración o específicamente, si la hubiere, sobre la comisión de auditoría interna, como es necesario en las sociedades cotizadas.

2.2. LA IA, EL DEBER DE DILIGENCIA Y LA REGLA DE LA DISCRECIONALIDAD EMPRESARIAL

Por lo dicho hasta ahora, puede afirmarse, aunque con matices, que el empleo de la IA en la toma de decisiones de gestión ha dejado de ser una mera facultad de los administradores. La cuestión ya no es si los administradores pueden recurrir a esa herramienta, sino qué grado de utilización de la IA reclama el estándar de diligencia exigible en cada caso a los administradores.

Desde una perspectiva general, el uso de la IA incide directamente en el deber de diligencia de los administradores, que se rige por el patrón

abstracto del cuidado y esfuerzo que un empresario ordenado aplica a sus propios negocios. De esta regla se extrae que la valoración de la actuación de los administradores obliga a considerar las condiciones de cada caso, así como el riesgo inherente a la actividad que realiza la sociedad.

La necesidad de evaluar las circunstancias específicas de cada sociedad determina que no pueda darse una respuesta única. Sin embargo, pueden establecerse dos puntos de partida: (i) es válido el planteamiento que considera que el uso de la IA constituye una estricta obligación para una diligente gestión de una empresa, modulable en función de sus propias características y (ii) el uso de la IA desde la perspectiva del deber de diligencia está guiado por la discrecionalidad con la que los empresarios pueden y deben actuar en la toma de decisiones, las cuales son, por naturaleza, aleatorias e impredecibles.

Más allá de la validez de las dos afirmaciones precedentes, aquí, como en tantas otras ocasiones, *one size does not fit all*. No es posible tomar un punto de partida apriorístico que valga con carácter general en relación con la necesidad de emplear la IA en la gestión de la sociedad ni sobre el alcance que deba darse a su uso. Respecto de la consideración del uso de la IA solo puede alcanzarse una respuesta relativa. Cualquier planteamiento al respecto deberá estar orientado en función de las circunstancias concretas del sector en el que opera la empresa, de las características específicas de la empresa, de la estructura subjetiva de la sociedad, de los conocimientos personales de los administradores, de los intereses particulares buscados por los socios, o de la necesidad de atender a otros intereses.

El uso de la IA en la toma de decisiones empresariales pasa a desempeñar una función similar a la que tienen otras herramientas tecnológicas, cuyo empleo sirve para cumplir, al menos parcialmente, las exigencias del deber de diligencia, que es el que reclama de los administradores un comportamiento típico del ordenado empresario. Recurrir a la IA será parte de los requisitos necesarios de una actuación diligente, en la medida en que permite a los administradores tomar decisiones debidamente informadas en beneficio de la sociedad. En ese sentido, utilizar la IA en el análisis y la adopción de decisiones pone el comportamiento en una relación alineada con los parámetros propios del deber de diligencia. La información proporcionada por la IA permite reducir la impredecibilidad y dota de racionalidad a las decisiones, minimiza la incertidumbre y hace que la toma de decisiones sea más rápida, informada y ponderada. Desde este punto de vista, la IA proporciona más información y mayores capacidades reforzadas de análisis de los datos existentes.

El deber de informarse de los administradores (art. 225.3 LSC) no exige que se provean de toda la información existente o disponible, lo que sería imposible y, en todo caso, ineficiente. Requiere, tan solo, que alcancen un nivel adecuado y razonable de la información asequible. Y ahí la IA puede ofrecer resultados muy significativos. La necesidad de una adecuada información se vincula a los presupuestos sobre los que descansa la autonomía de decisión que gozan los administradores, y que les asegura que los riesgos de errores en la toma de decisiones de empresa se atribuyan a los socios y no sean soportados por los administradores. Esta es la base sobre la que descansa la regla de la discrecionalidad empresarial (*business judgement rule*, artículo 226.1 LSC). Pero para ello la condición necesaria es que los administradores al menos tomen sus decisiones con «información suficiente» y que adopten sus decisiones en el marco de un «procedimiento de decisión adecuado», dos requerimientos que, en realidad, se superponen, porque un procedimiento adecuado exige contar con información suficiente.

En este marco, la falta de uso de la IA podría mostrar un inadecuado procedimiento de decisión, ya que impediría obtener esa «información suficiente» y, por tanto, no cumpliría con los presupuestos de la regla de discrecionalidad. Como ya se dijo, la intensidad y el momento en que deba emplearse esa información dependerá de cada sociedad; no es lo mismo una empresa multinacional que una pequeña sociedad familiar que gestiona un comercio en una pequeña ciudad.

Es innegable que la IA amplía notablemente la información y la capacidad de análisis y de decisión, por lo que resultaría obligatorio para los administradores, cuando menos en sectores donde disponer de un número muy amplio de datos resulta razonablemente necesario para tomar decisiones. Al mismo tiempo, en una matriz de análisis de riesgos clásica, parece razonable que el administrador recurra a la IA si la probabilidad de una consecuencia dañosa es muy elevada o, aun siendo reducida, si el impacto de su ocurrencia resultara crítico para la sociedad. En estas circunstancias, renunciar a la mejora en la capacidad de análisis y decisión que proporciona la IA sería tan inapropiado como dejar de recurrir al, a menudo, imprescindible asesoramiento externo, en el marco del «procedimiento adecuado de decisión».

No obstante, como se mencionó anteriormente, la cuestión debe valorarse caso por caso. Como afirma Roncero, el recurso a la IA «no constituye un presupuesto para la aplicación de la regla de protección de la discrecionalidad empresarial en el sentido de que, sin dicha información, ya no pueda consi-

derarse que el administrador ha actuado conforme al estándar de diligencia exigible pues, aún sin utilizar dicha información, el administrador podría acreditar que, junto al resto de presupuestos para la aplicación de la regla de protección de la discrecionalidad empresarial, dispuso de información suficiente en atención a las circunstancias del caso para actuar como lo hizo».

En ciertos sectores, como el financiero o en las grandes empresas cotizadas, el uso de la IA puede ser una exigencia ineludible para la toma de decisiones empresariales. Sin embargo, el acceso a la información derivada de la IA puede no ser tan relevante en otros casos si comporta un coste excesivo y, en todo caso, desproporcionado en relación con los beneficios que de ella pueden derivarse. Este podría ser el caso de su uso en una pequeña empresa como la descrita algunos párrafos más atrás.

Hay, además, situaciones en las que pueden existir otras herramientas que ofrezcan una información más adecuada o que podrían ser mejor desde la perspectiva de los objetivos buscados. Por ejemplo, en ocasiones convendría valorar si el recurso a informes o dictámenes personales elaborados por expertos independientes puede ser más apropiado cuando se tratara de determinar la imparcialidad de la decisión que finalmente se vaya a adoptar, toda vez que el algoritmo puede venir predeterminado y reflejar, con ello, un sesgo que se pretende evitar.

El análisis de esta cuestión debe considerar, además, otro factor. Incluso si el uso de la IA fuera necesario en el marco del deber de diligencia, atendiendo a las circunstancias de caso concreto, las características de la sociedad, riesgos de la actividad, etc., ello no implica necesariamente que los administradores deban seguir al pie de la letra las recomendaciones o las decisiones producidas por el algoritmo. La discrecionalidad empresarial permite a los administradores desviarse incluso de la solución promovida por la IA. La existencia de una respuesta automatizada no necesariamente debe ser vinculante para los administradores. La flexibilidad es crucial para que estos puedan adaptarse a circunstancias específicas y tomar las decisiones que consideren más adecuadas en función de su juicio y experiencia. En este sentido, la regla de la discrecionalidad empresarial cubre, también, la posibilidad de rechazar la opción elaborada por la IA. Sin embargo, en estos casos los administradores deberían proporcionar una justificación que respalde su decisión.

Esta conclusión resulta evidente a la luz de los objetivos perseguidos por la regla de discrecionalidad empresarial. Incluso si se demuestra *a posteriori* que el uso de la IA podría haber evitado efectos dañinos que finalmente se

han llegado a producir, a los administradores no se les puede exigir que sigan ciegamente las recomendaciones surgidas del algoritmo. Pretender lo contrario lleva implícita una evaluación *ex post* de la relación entre los daños sufridos y el hecho de no haber recurrido a la IA o no haber seguido sus recomendaciones que ignora las circunstancias concurrentes en el momento de la decisión (precisamente, lo que intenta evitar la regla de la *business judgment rule*). En fin, el mismo diseño del algoritmo en el que se basa la herramienta de IA puede estar sesgado por quien proyecta el sistema y adolecer de prejuicios que se traslucen en las clasificaciones, correlaciones y predicciones generadas; así se ha apreciado respecto del uso de sistemas de análisis facial que ha conducido, en ocasiones, a decisiones influidas por el color de la piel o el género.

Son esas limitaciones (la incompletitud, el sesgo de origen en el diseño del algoritmo, la inexactitud de los datos sobre los que actúa...), las que impiden que el recurso a la IA constituya un puerto seguro para los administradores, cuya capacidad de juicio y decisión independiente sigue siendo indispensable para la correcta aplicación del principio de discrecionalidad empresarial. Desde la perspectiva de la diligencia, podría incluso ser cuestionable el uso de la IA sin establecer cautelas para evitar esos riesgos.

Es indispensable tener en cuenta que la idea de que los administradores deben seguir lo propuesto por la IA, o enfrentarse al riesgo de incurrir en responsabilidad, se enfrenta a dificultades difícilmente salvables. Aunque se admitiera que no usar la IA supuso incumplir el deber de diligencia en forma de omisión, resultará muy difícil probar los daños causalmente relacionados con el comportamiento omisivo, siendo la relación de causalidad componente indispensable de la responsabilidad de los administradores.

En definitiva, incluso cuando sea exigible que los administradores recurran a la IA en el marco de su deber de diligencia, va de suyo que pueden desviarse de las indicaciones establecidas por el algoritmo si consideran que es lo mejor para la sociedad. La regla de la discrecionalidad no desaparece y permite justificar la no atención a las recomendaciones derivadas de lo que el algoritmo prescribe. No obstante, cuando hayan recurrido a ella, resulta razonable exigir a los administradores que proporcionen una justificación razonada de por qué su decisión distinta fue tomada en el mejor interés de la sociedad. Esta argumentación específica, que debe ponerse en relación con las características de la decisión y de la sociedad afectada, es un componente natural de la libertad de la que gozan los administradores en la toma de la decisión, con respecto a la IA. Una libertad que, por otra parte, conecta con

la relación existente entre el empleo de esta tecnología y el deber de lealtad, de lo que nos ocupamos a continuación.

2.3. LA IA Y EL DEBER DE LEALTAD DE LOS ADMINISTRADORES

El análisis del impacto de la IA sobre los deberes de gestión de las sociedades de capital obliga a valorar su uso como instrumento que colabora en la gestión desde la perspectiva del deber de lealtad. Este deber, como es conocido, implica defender de buena fe el interés de la sociedad, anteponiéndolo sobre cualquier interés privado, tal como se establece en el artículo 227 de la Ley de Sociedades de Capital (LSC). Este deber se proyecta especialmente en los casos de conflictos de interés, regulados en los artículos 228.c y 229 de la LSC.

Pero el uso de la IA presenta ya cuestiones de interés en relación con el deber de confidencialidad (artículo 228.b de la LSC). Como es conocido, no todas las herramientas de IA aseguran la confidencialidad de la información ni impiden su uso en el entrenamiento general del modelo o para atender peticiones por otros usuarios. Cuando los administradores emplean IA de acceso libre, ello puede llegar a suponer el incumplimiento del deber de confidencialidad y, con ello, del deber de lealtad, una de cuyas manifestaciones es, como se ha indicado, el deber de mantener en secreto la información societaria y la toma de las decisiones en el órgano de administración.

El recurso a la IA también afecta al deber de que los administradores desempeñen sus funciones bajo el principio de responsabilidad personal, con libertad de criterio y con independencia respecto de instrucciones y vinculaciones de terceros, tal y como se contemplan en el artículo 228.d de la LSC. La aplicación de esta exigencia respecto del uso de la IA es complicada, pues puede vincularse al grado de *personalización* que se atribuya a la IA y a su mecanismo de decisión autónoma por medio de algoritmos. Sin embargo, la aplicación de ese deber no depende del reconocimiento de una conciencia autónoma de la máquina, hasta el punto de equipararla con un *sujeto* externo que comprometa la independencia de los administradores. Por su capacidad de influencia y convicción, al deber de lealtad debe ser inherente la necesidad de un análisis crítico por los administradores de los resultados ofrecidos por la IA y la adopción autónoma de decisiones, incluyendo, como antes se indicó, la capacidad de desviarse de las decisiones promovidas o recomendadas por el algoritmo. En definitiva, recurrir a la IA no significa que la decisión esté determinada por la influencia de terceros, pero sí sería contrario al deber de lealtad (y, posiblemente, también al de

diligencia) un seguidismo absoluto y acrítico de la IA, cuando esta se emplee en la adopción de decisiones.

Por último, quedaría por relacionar el empleo de la IA con la materia nuclear del deber de lealtad, esto es, la relativa a los conflictos de interés. Esta cuestión puede observarse en dos planos diferentes. En primer lugar, puede aflorar un conflicto de interés en el momento del diseño del algoritmo. En ciertos casos, no puede descartarse la influencia en la decisión del interés de administrador, aunque exista una apariencia de imparcialidad, si la decisión tomada derivase de un algoritmo predeterminado por un administrador en quien concurría el conflicto (piénsese, por ejemplo, en una start-up tecnológica uno de cuyos administradores sea, precisamente, el responsable del diseño del algoritmo). En este caso, la aplicación del deber de lealtad debería plantearse no sobre el resultado, sino sobre el diseño del algoritmo mismo, en el que resultaría relativamente sencillo proyectar las obligaciones clásicas derivadas del deber de lealtad (transparencia y abstención) que se deben trasladar ya no solo al seno del órgano, sino a la IA. Sin embargo, el funcionamiento de la IA no siempre asegura una respuesta adecuada a esa situación.

En segundo lugar, debe considerarse también el caso en el que el diseño del algoritmo se hiciera en un contexto en el que no existiera un conflicto de interés y que este aflorara más adelante, hasta el punto de que el resultado ofrecido por la IA termine sesgando la decisión, para favorecer el interés del administrador. Si cuando se diseñó el algoritmo se excluyó adecuadamente la misma posibilidad de que la decisión viniera sesgada por unos intereses que, en todo caso, en ese momento no existían, no parece razonable considerar que el supuesto deba ser objeto de reproche.

La cuestión expuesta ya es, de por sí, bastante problemática; pero, en todo caso, va más allá. Las reglas tradicionales de la gobernanza corporativa en lo que se refiere al conflicto de interés y al deber de lealtad no se adaptan adecuadamente a un órgano de gestión cuyo funcionamiento se base o se apoye de forma significativa en la IA. Por ejemplo, uno de los pilares de la gobernanza corporativa asume el deber de actuar honestamente y de buena fe. Esta es una formulación vinculada a incentivos y sentimientos humanos que, por ese mismo motivo, no parece adecuada para analizar decisiones soportadas por la IA. En este sentido, no debe descartarse que la base del planteamiento del conflicto de interés deba ser repensada desde sus fundamentos en relación con el empleo de la IA en las decisiones del órgano de administración.

2.4. EL USO DE LA IA Y LA PERSECUCIÓN DE OBJETIVOS AJENOS A LOS FINES LUCRATIVOS DE LOS SOCIOS; EL CASO DE LAS MISIONES U OBJETIVOS (*PURPOSES*) DE CARÁCTER NO LUCRATIVO

Hasta este momento, se ha partido implícitamente de la base de que el comportamiento de los administradores viene guiado por el interés social, en su formulación clásica. Los deberes fiduciarios de los administradores imponen la atención al interés de la sociedad, identificado así como el interés de sus socios. Esos son los parámetros sobre los que se ordena tanto el cumplimiento diligente de su función como el deber de lealtad. Sin embargo, la evolución moderna del Derecho de sociedades ha impuesto la necesidad de atender un abanico de intereses más amplio. Los objetivos (*purposes*) a considerar en la gestión corporativa ya no vienen solo vinculados por los objetivos particulares de los socios. Y en ello, la IA puede también desempeñar una útil función.

En efecto, en la actualidad la gestión no se rige únicamente por fines financieros o de incremento del valor de la compañía y de satisfacción de los objetivos lucrativos de los socios. Cada vez más, la ley o los estatutos de la sociedad imponen en más ámbitos deberes de gestionar la sociedad atendiendo otros intereses como los de los trabajadores y otros *stakeholders* o administración social en consideración de criterios medioambientales, de derechos sociales o de buena gobernanza (ESG) hoy reflejados en el *motto* de la sostenibilidad. Esta nueva guía o patrón puede o, incluso, debe tenerse en cuenta a la hora de redactar el informe de sostenibilidad (Directiva 2022/2464), de atener a la taxonomía de inversiones sostenibles (Reglamento 2020/852) o respecto de la obligación de realizar la *due diligence* de sostenibilidad corporativa (Directiva 2024/1760). Representan nuevos factores que se integran naturalmente en el ámbito de los deberes societarios, aunque no dejan de ser opciones discutidas incluso en el ámbito europeo, donde en febrero de 2025 se aprobaron Propuestas que supondrían, en caso de aprobarse, un freno a la normativa en materia de sostenibilidad (Propuesta de Directiva Omnibus I dirigida a posponer la aplicación de las Directivas de *reporting* y de *due diligence* y limitar su ámbito de aplicación, y Propuesta de Reglamento delegado en desarrollo del Reglamento 2022/2464, de taxonomía).

De todos es conocido las dificultades para medir la adecuación de las medidas que una sociedad pueda adoptar en función de la persecución de objetivos tan dispersos y heterogéneos y ponderar adecuadamente su

compatibilidad con los intereses de los socios. De nuevo, aquí la IA puede resultar de gran ayuda en esa tarea gracias a su capacidad de procesar *big data* para diseñar y, en su caso, aplicar métricas razonablemente objetivadas de satisfacción de esos «otros» intereses. La IA puede cumplir una función decisiva en la observación y atención de intereses distintos de los accionistas. Por supuesto, además, podrá resultar de utilidad cuando, llegándose a soluciones contradictorias, sea necesario encontrar alternativas que permitan cohonestar del modo más eficiente el interés de los accionistas y esos otros que, identificados con el de los *stakeholders* o con el *propósito* de la sociedad, se alejan de la maximización del beneficio como rector de la actuación de los administradores.

En este plano, conviene recordar que la IA autónoma, necesaria para llegar a este punto, debe programarse con objetivos claros y definir los intereses a defender desde el inicio, incorporándolos en los algoritmos de gestión. Por ello, la programación debería atender a los objetivos de política jurídica y a los intereses prevalentes que orientarían sus decisiones. No se trata solo de que la IA pueda servir como apoyo para contrastar soluciones alternativas, que tomen en cuenta otros intereses merecedores de atención. Tampoco de que explore, analice o diseñe una solución intermedia cuando los intereses no puedan atenderse de manera simultánea. Estamos hablando, más bien, de la posibilidad de integrar esos intereses, de manera que la IA pueda atenderlos de manera correcta. En los casos más extremos, esta exigencia resultará ineludible si la IA pasa a alcanzar la condición de administrador de la sociedad en su función de control o supervisión, cuestión de la que nos ocupamos a continuación.

3. EL CONTROL DEL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LA IA COMO INSTRUMENTO PARA CONTROLAR EL FUNCIONAMIENTO DE LA EMPRESA

El uso de la IA por los administradores de sociedades de capital plantea exigencias específicas desde la perspectiva del control. Por un lado, debe ser objeto de control en sí mismo, dado que conlleva riesgos específicos que pueden comprometer la adecuada gestión de la sociedad. Estos riesgos pueden derivarse, entre otros factores, de la utilización de datos sesgados o generalistas, de la falta de transparencia en los algoritmos o de la posible delegación excesiva de funciones estratégicas en sistemas automatizados, lo que podría afectar el cumplimiento de los deberes fiduciarios de los administradores.

Por otro lado, la IA puede convertirse en una herramienta clave para cumplir funciones de control inherentes al órgano de administración. En un entorno empresarial cada vez más complejo, los administradores deben identificar y gestionar riesgos asociados a la actividad de la sociedad, como el incumplimiento normativo, el comportamiento fraudulento, la presencia de conflictos de interés con otras sociedades participadas, etc. La capacidad de la IA para procesar grandes volúmenes de información permite optimizar estos procesos, reforzando los mecanismos de *compliance* y mejorando la supervisión del desempeño corporativo. Como se ha descrito antes, de todos modos, su uso en este ámbito no está exento de dudas sobre el grado de autonomía que debe delegarse a esta herramienta y la responsabilidad de los administradores en la interpretación y aplicación de sus resultados.

A continuación, abordaremos las dos dimensiones expuestas, considerando primero los deberes de control con respecto al uso de la IA y, más adelante, la utilidad de esta herramienta para el control del riesgo.

3.1. DEBERES DE CONTROL CON RELACIÓN AL USO DE LA IA

El recurso a la IA por parte de los administradores obliga a tener muy presentes, en primer lugar, sus riesgos y la necesidad de su adecuado control. La IA descansa en la combinación de datos masivos y el empleo de algoritmos que permiten la toma de decisiones automatizadas. Ambos elementos presentan evidentes riesgos, que deben ser adecuadamente controlados y gestionados.

Existen riesgos relevantes que no deben ser subestimados desde la perspectiva de una gestión influida u orientada por la IA. A título de ejemplo y desde una perspectiva general, considérese la discutible veracidad o fiabilidad de los datos empleados, la posible optimización del modo en que los datos son visualizados, o la creación de sistemas de transferencia y conexión de datos. También en un plano generalista, existen riesgos asociados a la adopción de decisiones basadas en correlaciones erróneas cuando se realizan de manera automatizada y sin intervención humana, así como la difusión de datos personales.

Estos riesgos no son específicos de sectores concretos, de determinadas actividades o de particulares formas de negocio que una sociedad puede desarrollar. Sin embargo, no se puede ignorar que hay sectores en los que tienen una entidad cualitativa. Esto es especialmente cierto en los casos en que la IA puede ser un canal o un instrumento que coadyuve a la infracción

de normas, lo que aumenta la necesidad de un adecuado control por los administradores para asegurar el cumplimiento de esas normas.

El uso de la inteligencia artificial puede generar nuevos riesgos que los administradores deberán contemplar, comprender y gestionar. Se manifiesta, así, un deber de «gobernanza de la IA», que impone nuevas obligaciones a los administradores en el marco del cumplimiento de la legalidad. En este sentido, es fundamental recordar que el deber de legalidad (es decir, el deber de los administradores de gestionar la sociedad para que esta cumpla las obligaciones que a ella incumben) es parte del deber de diligencia, según el artículo 225.1 LSC y que de los daños que deriven de los actos contrarios a la ley responderán los administradores, según establece el artículo 236.1 LSC.

Uno de esos planos en los que el deber de gobernanza de la IA aflora con particular claridad es el relativo al cumplimiento de obligaciones en materia de Derecho de la competencia. La interacción entre la IA y el Derecho de la competencia es conocida y advertida por los organismos reguladores, por lo que no puede ser desconocida por los administradores. Las mejoras en eficiencia que proporciona el empleo de IA no ocultan los nocivos efectos que puede tener sobre la libre competencia. El uso de algoritmos puede facilitar, promover e incluso llegar a generar por sí mismos prácticas concertadas o paralelas contrarias a la competencia, cuestión especialmente delicada en conexión con los denominados algoritmos de precios.

La circunstancia descrita se presenta de dos maneras diferentes. En primer lugar, con relación a las conductas colusorias, derivadas del desarrollo de conductas coordinadas por efecto del empleo de algoritmos. Así, por ejemplo, en el marco de comportamientos del tipo *hub and spoke* o con relación al riesgo de que un algoritmo de aprendizaje profundo (*deep learning*) pueda tomar decisiones encaminadas a conseguir el resultado más eficiente lo que pueda entenderse que supone, precisamente, una colusión con otros competidores que utilizan algoritmos que conducen al mismo resultado. En segundo lugar, en el marco de conductas unilaterales apoyadas en IA, que pueden proyectar sus efectos con respecto a los deberes especiales que se imponen a las empresas que gozan de una posición de dominio. Así puede suceder, por ejemplo, en el diseño y empleo de algoritmos de fijación de precios que segmenten los clientes teniendo en cuenta qué parte de la demanda podría dirigirse a otro competidor y cuál no. Este escenario discriminatorio forma parte de las conductas de exclusión tradicionales dentro del abuso de dominio (v. la Comunicación de la Comisión — Orientaciones sobre las prioridades de control de la Comisión en su aplicación del artículo 82 del

Tratado CE a la conducta excluyente abusiva de las empresas dominantes — (2009/C 45/02)—, v. también la Comunicación de la Comisión de 27 de marzo de 2023 —CC (023) 1923 final— y su Anexo).

También se destaca esa necesidad en lo relativo a la protección de datos personales, que es otro ámbito crítico. Por ese motivo, es exigible que el responsable del tratamiento de los datos de una sociedad aplique medidas técnicas y organizativas apropiadas para garantizar y demostrar que el tratamiento que pueda hacer la IA es conforme a las exigencias del Reglamento General de Protección de Datos (RGPD) de la UE (especialmente artículo 25 y 22), incluyendo la aplicación de políticas de protección de datos cuando sea necesario.

En tercer lugar, debe analizarse, también, su repercusión sobre los mercados de valores. En particular, desde la perspectiva de la transparencia en los mercados o del ámbito de aplicación del régimen sobre información privilegiada y sobre manipulación de mercado tal y como se contempla en el Reglamento 596/2014 de Abuso de Mercado (RAM). Este escenario, cuando la IA ofrece respuestas contractuales automáticas, prescindiendo de cualquier participación humana en la toma de decisiones, presenta perfiles y exigencias específicas, que trataremos más adelante.

En todos los escenarios descritos, es claro que deberá exigirse a los administradores el establecimiento de reglas corporativas adecuadas aplicables al monitoreo de las nuevas herramientas tecnológicas, y la adopción de manera específica de medidas de control dirigidas a asegurar el cumplimiento del deber de legalidad. En especial estas previsiones son fundamentales cuando de dichas infracciones pudieran desprenderse sanciones y, eventualmente, pudieran tener efectos sobre la responsabilidad de la sociedad que utiliza la IA.

La necesidad de implementar medidas de control sobre el empleo de la IA en estos contextos se presenta, con particular evidencia, en relación con la posible imposición de sanciones administrativas por los organismos competentes de defensa de la competencia, de la autoridad de protección de datos o del supervisor de los mercados (en cuya revisión, por cierto, va a resultar cada vez más frecuente el empleo de la propia IA, *RegTech*). A dichas sanciones se sumarían, en su caso, los perjuicios adicionales que se pudieran derivar en el ámbito de la responsabilidad civil (por ejemplo, costes reputacionales o de otro tipo) en el marco de la aplicación privada del Derecho de la competencia o de la normativa de los mercados de valores.

3.2. EL USO DE LA IA COMO HERRAMIENTA PARA FAVORECER LA VIGILANCIA Y EL ADECUADO CONTROL DEL RIESGO DE LA EMPRESA

Los administradores de una sociedad tienen el deber de gestionar la sociedad y la empresa de la que aquella es titular. Por hipótesis, ello reclama asumir los riesgos inherentes a toda actividad de empresa. Pero como estos riesgos pueden afectar al rendimiento de la sociedad, sobre ellos recae, también, el deber específico de establecer controles y supervisar esos riesgos.

La IA puede ser una herramienta particularmente útil tanto en la mejora de los sistemas públicos de regulación y supervisión (*RegTech*), como en el establecimiento de eficaces procesos internos de vigilancia y control de riesgos. A estas funciones contribuyen técnicas avanzadas que permiten identificar, evaluar y gestionar riesgos de una manera eficiente y precisa, mediante el análisis masivo de datos y el aprendizaje automático, que actúe como una herramienta interna de monitoreo y *reporting* en el marco del cumplimiento normativo (*ComplianceTech*). Esta combinación de funciones, por cierto, hace aflorar con nitidez un posible conflicto de interés cuando el mismo proveedor transmite el *software* al supervisor y a la empresa que lo usa en sus políticas de *compliance*. También, genera la duda de si el supervisor puede vigilar los mismos sistemas internos de control y cumplimiento. Se trata de cuestiones de interés que están llamadas a generar un intenso debate en el futuro inmediato y que, por el momento, solo podemos apuntar.

El desarrollo de estos sistemas de control delegado o soportado en la IA es conocido en el sector financiero, en el que se introdujeron primeramente, aunque van más allá de ese limitado ámbito. En ese sector ya se ha planteado si la tecnología, y más concretamente los algoritmos y las máquinas de respuesta automática basadas en datos, son una mejor herramienta para una vigilancia neutral (no sesgada) de los riesgos y de los gestores.

Lo cierto es que la IA debería facilitar procesos *unbiased* de los riesgos y de conductas peligrosas, incluso antes de que estos se materialicen. A través del análisis predictivo, los sistemas de IA detectan patrones y anomalías en enormes volúmenes de datos, que permiten a los administradores anticipar problemas y tomar medidas preventivas. Esto es especialmente útil en los mercados financieros y, muy en particular, en sectores como la banca y los seguros, donde la identificación temprana de riesgos puede generar ganancias, pero, sobre todo, puede evitar pérdidas significativas.

Además, la IA ayuda en la evaluación de dichos riesgos, al proporcionar una valoración precisa y neutral de su gravedad, así como de la probabilidad de que acaezcan los riesgos ya identificados. Los algoritmos de IA pueden modelar escenarios complejos y ofrecer una evaluación detallada, que permita a los administradores tomar decisiones informadas basadas en datos concretos. Esta capacidad de la IA para analizar datos en tiempo real también permite la fiscalización continua del entorno de riesgo, lo que es crucial para responder rápidamente ante potenciales cambios.

La IA también optimiza los procesos de gestión de riesgos mediante la automatización de tareas rutinarias y repetitivas. Esto libera recursos humanos para tareas más estratégicas, y contribuye a reducir la posibilidad de errores humanos. Por ejemplo, la IA puede automatizar la recopilación y el análisis de datos de cumplimiento normativo, asegurando que la empresa cumpla con las regulaciones vigentes y evitando sanciones y multas.

Finalmente, la IA contribuye a la transparencia y la rendición de cuentas en la gestión de riesgos. Al proporcionar un registro detallado de las decisiones y los datos utilizados para tomarlas, la IA facilita la auditoría y el control interno, lo que es esencial para cumplir con el deber de diligencia y responsabilidad de los administradores.

Una mención especial en este aspecto merece la utilidad de la IA en conexión con las labores específicas de los consejeros independientes, allí donde existan. Al margen de que la IA puede contribuir significativamente a la selección de consejeros independientes, como se señalará más adelante, el recurso a esta tecnología favorece el cumplimiento de sus funciones específicas de control y supervisión, proporcionándoles una amplia gama de información. Los consejeros independientes tienen funciones exclusivamente de supervisión, vigilancia o control, deben obrar con autonomía desde el punto de vista financiero y de criterio. Además, deben recabar información adecuada para sus funciones, que es diferente de la necesaria para tomar decisiones de gestión.

Es importante tener en cuenta que, si los consejeros que han adoptado una decisión en ejercicio de sus funciones quedan salvaguardados de su responsabilidad al acreditarse que han cumplido con los presupuestos de la regla de protección de la discrecionalidad empresarial (incluyendo haber actuado con información suficiente), también quedarán protegidos los consejeros que tienen solo competencias en materia de supervisión, vigilancia o control. Otra cosa es si esto no puede plantear la cuestión de si esta figura y las funciones de supervisión para cuyo desempeño son designados los

consejeros independientes, no puede ser mejor cumplida por herramientas automatizadas y neutrales de supervisión.

De hecho, existe un riesgo conocido que puede afectar a los presupuestos de la figura: los administradores independientes pueden ser reacios a desempeñar de manera efectiva su función de monitoreo y asesoramiento respecto a otros miembros del consejo con los que tienen una relación más intensa. Este fenómeno, conocido como *groupthink*, se debe a que los administradores que actúan profesionalmente en múltiples consejos de administración suelen pertenecer a los mismos círculos sociales. Como sucede en cualquier grupo humano, la armonía, el consenso o, directamente, la voluntad de evitar enfrentamientos rebaja el rigor del debate y el análisis crítico. El uso de la IA puede ser un instrumento valioso para mitigar estos riesgos y para incentivar a quienes están en minoría a manifestar de manera más abierta sus diferencias, en la medida en que pueden estar soportadas por el análisis exhaustivo y neutral que se presupone en la IA.

4. EL USO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL COMO HERRAMIENTA DE MEJORA EN LA COMPOSICIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL CONSEJO DE ADMINISTRACIÓN

4.1. EL USO DE LA IA EN LA SELECCIÓN DE CANDIDATOS A ADMINISTRADORES: EN PARTICULAR SU UTILIDAD PARA VALORAR EL MÉRITO, CONOCIMIENTOS TÉCNICOS Y LA DIVERSIDAD DE LOS CONSEJEROS

Hasta ahora hemos analizado el modo en que la IA puede contribuir al adecuado cumplimiento de los deberes propios de los administradores. Se trata del modo más usual de analizar la relación entre esta tecnología y la posición de los administradores. Menos observada es la conexión que existe con el propio proceso de selección de los administradores, para el que la IA puede desempeñar un papel importante, tanto en la elección de los administradores, como en garantizar la composición plural del consejo de administración. En particular puede ser una herramienta de gran valor en la evaluación desde el punto de vista de idoneidad (*fit and proper*), así como en las relativas a las competencias necesarias para desempeñar el cargo en algunos casos.

Según el artículo 227.1 de la LSC, la elección de los administradores debe tener en cuenta la naturaleza del cargo y las funciones asignadas. Es fundamental que este proceso de selección no esté influido por sesgos y que se

asegure el mérito y la capacidad técnica de los candidatos. La imparcialidad en la elección de los administradores debe atender tanto al deber de una dedicación adecuada, como se establece en el artículo 225.1 de la LSC, como al hecho de que, en sectores de especial complejidad, como el financiero, no existe una libertad absoluta en la elección de los administradores (p. ej. en el sector bancario, de seguros, mercado de valores). En estos casos, además, es necesario garantizar la idoneidad de los candidatos designados, lo que requiere evaluar sus conocimientos técnicos.

Es claro que, en esta labor, la IA puede ayudar a identificar y seleccionar a los candidatos más adecuados para el Consejo, al permitir el análisis de grandes volúmenes de datos y evaluar las competencias y experiencias de los candidatos de una manera objetiva. Esto no solo mejora la eficiencia del proceso de selección; también contribuye a la diversidad y a la pluralidad del órgano de administración, asegurando que sus componentes reflejen perspectivas y habilidades diferentes que puedan aportar un significativo valor a la sociedad.

La diversidad en la composición del Consejo resulta fundamental para desarrollar una gestión desde orientaciones y objetivos plurales, así como desde competencias cognitivas diversas. Esto debe considerarse al elegir un algoritmo que sea capaz de atender a las diferentes perspectivas de consejeros dominicales e independientes; hombres y mujeres, financieros, juristas o especialistas del sector propio del objeto social; personas de nacionalidades diversas (especialmente en el caso de sociedades multinacionales), o con diferentes edades. Por supuesto, todo ello reclama que el diseño del algoritmo elimine cualquier posible sesgo y garantice que la decisión viene objetivamente basada en las necesidades y objetivos que se quiere atender con el nombramiento de los consejeros. Al mismo tiempo, debería asegurarse que en la selección el algoritmo considere, las funciones que particularmente deba desempeñar cada administrador. No podrá valorarse igual la elección de un consejero ejecutivo que uno independiente. En especial, en este último caso, sus funciones son nítidamente distintas y el recurso a la IA debe garantizar que se evalúa la aptitud particular para su desempeño.

Como es lógico, no necesariamente corresponderá a los administradores el diseño y la programación del algoritmo. Si acaso, su uso tendría todo el sentido en el marco de las comisiones de nombramiento, que deberán contemplar las sociedades cotizadas, y a las que se asignan funciones de gran relevancia en relación con la propuesta de nombramiento o reelección de los consejeros independientes (artículo 529decies4 LSC), o en relación con

el informe que debe acompañar la propuesta de nombramiento o reelección de cualquier consejero no independiente (artículo 529decies5 LSC). En esta tarea, los miembros de la citada comisión se pueden hacer «asesorar» a través de la información requerida de la IA.

De cualquier forma y con carácter general, si se deriva esta tarea a instrumentos automatizados o si la comisión de nombramientos se hace ayudar de este tipo de herramientas, será función de los administradores (y no solo de los miembros de la comisión de nombramientos) establecer sistemas de vigilancia adecuados que garanticen que el algoritmo se diseñó correctamente y que cumple las exigencias de mérito e imparcialidad en la presentación de la propuesta de nombramiento o en el informe sobre la propuesta.

Este deber se proyecta, en primer lugar, en el momento del encargo. Los administradores deben proporcionar las instrucciones adecuadas y necesarias que garanticen el resultado pretendido, incluyendo la eliminación de sesgos en la decisión. además, los administradores deberán asegurarse, dentro de sus capacidades, de prever un adecuado funcionamiento del algoritmo (por ejemplo, realizando una serie de pruebas aleatorias que permitan comprobar si la propuesta generada por la IA está libre de sesgos y refleja adecuadamente todos los méritos potencialmente relevantes). Esto es fundamental porque, aunque, como dijimos, existe el riesgo de un diseño sesgado del algoritmo, la IA es un instrumento que, en la mayor parte de los casos, resulta mucho más seguro e imparcial para garantizar la neutralidad y evitar el *sesgo cognitivo* que en el caso de los administradores que son personas físicas.

En ciertas ocasiones no puede descartarse que la programación o adaptación del algoritmo pueda realizarse por los propios administradores. Pensamos, por ejemplo, en *start ups* tecnológicas en las que se diseñe un algoritmo multifuncional para la selección del personal, incluyendo directivos, y que se emplee para revisar los perfiles de los candidatos para el órgano de administración. De ser así, la obligación que recae sobre los administradores de utilizar estos instrumentos revestirá mayor intensidad, al objeto de evitar prejuicios.

4.2. NI EL USO DE LA IA NI SUS PROPUESTAS RELATIVAS AL NOMBRAMIENTO DE ADMINISTRADORES DEBEN CONSIDERARSE VINCULANTES

De cualquier manera, tal y como antes se advertía respecto de la aplicación de la regla de la discrecionalidad, en la presentación de propuestas de

nombramiento no debe desconocerse que no existe una única o mejor opción a la hora de nombrar administradores, que se deba considerar vinculante para los socios. Todo lo más hay indicaciones generales que deben asegurar la diversidad de la composición general del consejo en las sociedades cotizadas salvo, como es natural, si hay normas imperativas de necesario cumplimiento (por ejemplo, como las de la Ley Orgánica 2/2024, de 1 de agosto, de representación paritaria y presencia equilibrada de mujeres y hombres).

Esta libertad, dentro de ciertos parámetros generales, no se da en todos los casos y sectores. En algunos, la libertad de los socios en la selección y nombramiento de las personas que serán administradores es menor. Así ocurre cuando la ley impone determinadas exigencias relativas a conocimientos técnicos de esas personas que ocuparán los puestos de consejero porque afectan a actividades en que la regulación específica del sector exige conocimientos específicos por razones de interés general (p. ej., en el sector bancario, art. 24 Ley 10 /2014, de Ordenación, Supervisión y Solvencia de las Entidades de Crédito). En estas situaciones los órganos correspondientes deberán hacer un examen previo de idoneidad de las personas que se nombren. Y en tal caso el uso de la IA puede ser no solo una herramienta de particular valor, sino imprescindible.

Pero estos son casos excepcionales e incluso en ellos no deja de existir un amplio margen de libertad de los socios a la hora de elegir a quienes consideren conveniente. Y, por supuesto, en el supuesto ordinario en el que no se imponen requisitos legales relativos a conocimientos específicos, en la elección de los miembros del consejo, siempre será posible que los criterios que los socios utilicen en la selección y propuesta de las personas que ocuparán el cargo de consejeros vengán orientados por su solo interés. Esto resulta particularmente relevante en el caso de los consejeros dominicales, con relación a los cuales debe estar presente, por encima de cualquier otro criterio, el de la confianza del accionista o accionistas que promueven su designación.

5. LA IA COMO INSTRUMENTO AUTÓNOMO EN LA TOMA DE DECISIONES (ROBO-DIRECTORS)

Finalizamos con unas breves indicaciones sobre la última faceta en la toma de decisiones de gestión, en la que la IA no es una mera herramienta de ayuda de los administradores, sino que directamente sustituye, total o parcialmente, a los seres humanos. La tecnología es, por sí sola, la «autora» de las decisiones imputables a la sociedad cuando se produzcan determi-

nados hechos que condicionan la respuesta automática, de acuerdo con determinadas previsiones algorítmicas. No hay aquí intermediación humana en la toma de la decisión, salvo en el diseño del algoritmo.

El fenómeno descrito podría calificarse como incipiente, si bien existen ya un número apreciable de casos en que pueden producirse este tipo de situaciones. A veces, de todos modos, la situación es engañosa. Alguna experiencia publicitada como pionera en el *nombramiento* de algoritmos como *miembros del órgano de administración*, en realidad les concedía un estatuto de *asesor*. Por ejemplo, en el publicitado caso de Deep Knowledge Venture, la IA no desplazaba a los administradores, sino que se integraba como una herramienta más «en el seno del consejo», cuyas «decisiones» se ponían a disposición de los «demás» administradores; además se limitaban al ámbito de las decisiones en materia de inversiones. E, incluso en ese ámbito, la capacidad de los administradores humanos no era totalmente desplazada. El mantenimiento de la actuación de las personas es coherente con el hecho de que los modelos legales conocidos son siempre de carácter antropocéntrico (Portellano). De ahí que los debates en este contexto suelen vincularse a la delicada cuestión del posible reconocimiento de un cierto grado de personalidad jurídica a ciertos algoritmos. Y, aun así, parece claro que ese resultado solo sería posible en ordenamientos como el nuestro, en los que se permita a las personas jurídicas formar parte del órgano de administración, lo que, en todo caso, excluiría dicha posibilidad en las sociedades cotizadas (art. 529.bis.1 LSC).

El empleo de la IA como instrumento autónomo en la toma de decisiones sí ha tenido un recorrido especial en el ámbito de los mercados financieros. No nos referimos solo a la creación de productos financieros con tecnología *FinTech* (productos financieros virtuales, emisiones de *tokens* a través de «ofertas públicas» en forma de *Initial Coin Offerings* —ICOs—, creación de instrumentos para la participación corporativa descentralizada —*Decentralized Autonomous Organisation* o DAO—), sino incluso a servicios financieros de forma automatizada, como en el caso de la gestión de carteras de instrumentos financieros. Pero probablemente el fenómeno de mayor interés, por lo que supone de ruptura con el modelo tradicional de Derecho de los contratos basado en la voluntad, lo suscita la difundida práctica de transacciones realizadas mediante respuestas automáticas predispuestas por un algoritmo (*algorithmic trading*). Estos son programas informáticos extraordinariamente complejos que reciben la información de los mercados y elaboran respuestas masivas de compra o de venta de instrumentos financieros, prescindiendo de cualquier intervención humana. Según se afirma,

en los EE. UU. estas técnicas de negociación están ampliamente difundidas, llegando a representar el 50 % de las negociaciones (Abriani / Schneider).

Los problemas de esta nueva situación en el puro orden legal son múltiples. Los defensores de estas prácticas afirman que aumentan la información en los mercados y, con ello, reducen la asimetría. Por otro lado, como antes se indicó, en términos preventivos, se produce un abaratamiento de los costes vinculados a los deberes de conocer y valorar los intereses y conocimientos de los inversores que impone la normativa MiFID II (y el Reglamento delegado). Tan solo se reclaman requisitos suplementarios en el caso de las empresas de servicios de inversión que realizan operaciones algorítmicas: antes de establecer estos sistemas, se deben fijar límites precisos sobre el número de instrumentos financieros, transacciones, precio, valor y número de órdenes, así como la adquisición de posiciones estratégicas.

Pero las objeciones jurídicas son también muchas. En particular, es objeto de discusión la consideración como información privilegiada de la información que utilizan los «traders» algorítmicos, o si pudiesen considerarse formas de manipulación de mercado las órdenes automáticas generadas por algoritmos que toman decisiones con capacidad de influir en la formación de precios, por ejemplo, al provocar una inundación de órdenes en el mercado, cuyas consecuencias son potencialmente perturbadoras en el precio de los valores afectados. En el ámbito preventivo, así se ha previsto específicamente para los mercados de valores (art. 16.1 RAM, que prevé que los gestores de mercado y las empresas de servicios de inversión establezcan y mantengan mecanismos, sistemas y procedimientos eficaces para prevenir y detectar las operaciones de información privilegiada y de manipulación de mercado, y los intentos de realizar este tipo de infracciones). Pero la obligación de establecer y mantener este tipo de mecanismos se extiende a cualquier profesional que prepare o ejecute operaciones, con el fin de detectar y notificar órdenes y operaciones sospechosas (art. 16.2 RAM).

CONCLUSIONES

Las páginas precedentes han tratado de ofrecer un dibujo del modo en que el uso de la inteligencia artificial impacta en la gestión de las sociedades de capital, sobre todo desde el punto de vista de las obligaciones y responsabilidades de los administradores. Al igual que otros avances tecnológicos previos, la IA puede ser una herramienta valiosa si se comprende y se utiliza adecuadamente, entre otras cosas por su capacidad sin precedentes para procesar grandes volúmenes de información y generar conocimiento nue-

vo. Pero, como suele suceder, la novedad no solo atrae cierta desconfianza, puede que en parte por la complejidad y el desconocimiento del alcance de la IA, sino que suscita retos nuevos para el legislador y el operador jurídico. En especial, desde el punto de vista del contenido del presente trabajo, la incorporación de esta herramienta plantea la duda de si su uso debería ser una obligación para los administradores o no y si, de serlo, con qué alcance.

Para abordar esa cuestión, es indispensable un análisis cuidadoso del modo en que la IA puede influir en el cumplimiento de los deberes de diligencia y lealtad de los administradores. La capacidad de la IA para proporcionar información detallada y análisis precisos puede mejorar la toma de decisiones, pero también plantea riesgos de dependencia excesiva y posibles conflictos de interés. Asimismo, el uso de la IA conlleva riesgos específicos que no puede desconocer un administrador diligente, como la posibilidad de decisiones basadas en datos sesgados o la falta de transparencia en los algoritmos. Precisamente por ello, los administradores que recurran a la IA están obligados a establecer controles adecuados para gestionar estos riesgos y asegurar el cumplimiento normativo. Pero su utilidad aconseja su cuidadoso empleo, por las ventajas que tiene la IA, por ejemplo, en los procesos de selección de administradores, eliminando sesgos y evaluando objetivamente las competencias de los candidatos. La IA puede contribuir a una selección más objetiva y diversa de los administradores, asegurando que el consejo de administración refleje una variedad de perspectivas y habilidades. Esto puede mejorar la gobernanza corporativa y la toma de decisiones estratégicas. No obstante, aunque la IA puede ser una herramienta poderosa, los administradores no deben depender exclusivamente de ella. Es fundamental que mantengan su capacidad de juicio y decisión independiente, utilizando la IA como un complemento y no como un sustituto de su responsabilidad. Similares consideraciones pueden hacerse con respecto al diseño e implementación de las políticas del control del riesgo, que forman parte de los deberes inherentes a la posición de administrador de una sociedad de capital.

La situación actual pone de manifiesto que la administración de una sociedad de capital, tanto en lo que se refiere al plano empresarial, como al corporativo, puede beneficiarse por el recurso a la IA. La capacidad de manejo, procesamiento y análisis de datos mejora la calidad de la información disponible para la toma de decisiones, en el marco de la regla de la discrecionalidad empresarial. Además, la capacidad de la IA para generar conocimiento nuevo y proponer soluciones alternativas es especialmente valiosa en situaciones complejas. Los administradores se benefician de esta

herramienta para evaluar diferentes escenarios y tomar decisiones acertadas. Pero los administradores no pueden observar acríticamente los resultados de la IA. Su deber de diligencia y de decisión autónoma les obliga a considerar esos resultados y, eventualmente, a separarse de las propuestas que ofrezca como, por otra parte, sucede con otras herramientas tecnológicas o el recurso a expertos externos. El uso cuidadoso de la IA debe seguir parámetros equivalentes a la hora de valorar el papel que la IA puede desempeñar en el cumplimiento normativo y en la gestión de riesgos. Los administradores deben utilizar esta tecnología para establecer sistemas de control efectivos que aseguren el cumplimiento de las obligaciones legales y la mitigación de riesgos. Resultaría erróneo entender que el recurso a ella salva a los administradores de cualquier valoración sobre el cumplimiento de sus deberes de diligencia y lealtad.

REFERENCIAS

Abriani, N., & Schneider, G. (2020). Il diritto societario incontra il diritto dell'informazione: IT, corporate governance e corporate social responsibility. *Rivista della Società* (fasc. 5-6), 1326-1397.

Abriani, N., & Schneider, G. (2021). *Diritto delle imprese e intelligenza artificiale: Dalla Fin Tech alla CorpTech* (2.^a ed.). Bologna.

Benedetti, L. (2024). L'AI come strumento (necessario) di adempimento e come causa di violazione dei doveri degli amministratori nell'artificial intelligence-based corporate (intelligence and director's duties). *Rivista Corporate Governance* (1), 87 y ss.

Chamorro Domínguez, M. C. (2020). La aplicación de sistemas de inteligencia artificial en el seno del órgano de administración de las sociedades de capital. *Revista de Derecho de Sociedades* (59), 173 y ss.

Enriques, L., & Zetsche, D. (2019). Corporate technologies and the tech nirvana fallacy (ECGI Law Working Paper No. 457/2019, pp. 1-69). (Resumen con el mismo título en *Oxford Business Law Blog*, junio de 2020, <https://blogs.law.ox.ac.uk/business-law-blog/blog/2020/03/corporate-technologies-and-tech-nirvana-fallacy>)

González-Meneses García Valdecasas, M. (2024). «Big data» y «machine learning»: ¿El fin del método jurídico? *El Notario del Siglo XXI* (113), 118-123.

Muñoz Pérez, A. F. (2020). La «inteligencia artificial (IA) autónoma» en el órgano de administración. *Revista de Derecho de Sociedades* (60), 71 y ss.

Roncero, A. (2019). BIG DATA y responsabilidad de los administradores de sociedades de capital. En De la Orden & Muñoz Pérez (Dirs.), *Revolución digital, derecho mercantil y token economía* (pp. 340-360).

Torre de Silva, López de Letona, J. (2022). Responsabilidad por daños causados por sistemas de inteligencia artificial. *Derecho Digital e Innovación. Digital Law and Innovation Review*, I (11, ene.—marz.).

Vérgez, C., & Crespo, E. (en prensa). Cuestiones relevantes en materia de algoritmos y Derecho de la Competencia. *Anuario de Derecho de la Competencia*.

Portellano, P. (2024). Decisiones financieras, inteligencia artificial y business judgement rule. En Fuentes & Martínez Martínez (Dirs.), *Gobierno corporativo: Digitalización y sostenibilidad* (pp. 179 y ss.). Madrid.

La Intersección del Derecho Administrativo y la Inteligencia Artificial: Implicaciones para la Seguridad Humana

ROSER MARTÍNEZ-QUIRANTE

*Profesora Titular de Derecho Administrativo,
UAB y Directora de la Cátedra Manuel Ballbé
de Seguridad Humana y Derecho Global*

SUMARIO: 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS. 2. RECONCEPTUALIZANDO LA SEGURIDAD HUMANA: DE LOS ENFOQUES TRADICIONALES A LOS MODELOS ALGORÍTMICOS. 2.1. *La nueva minería para la IA: las empresas oligopolistas de los datos.* 2.2. *Garantizar la Seguridad Humana para tener una Seguridad sin sesgos: del Big Data al Big Knowledge.* 2.3. *Límites de la Gobernanza Artificialmente Inteligente en el Sector Energético: Tipos de Automatización de Procesos.* 3. DERECHO ADMINISTRATIVO Y LAS DECISIONES DISCRECIONALES ANTE LA IA. 4. ALGORITMOS COMO FUENTE DEL DERECHO ADMINISTRATIVO. 5. DESAFÍOS JURÍDICOS Y ÉTICOS: LA OPACIDAD DE LOS ALGORITMOS. 6. LA SOLUCIÓN A UN ESTADO DE EXCEPCIÓN ALGORÍTMICO: REGULACIÓN Y CONTROL DE LA IA. 6.1. *Estandarización de los Algoritmos como Límite a su Uso.* 6.2. *Efecto California, Efecto Bruselas... o Efecto Beijing.* 7. EL USO DE LA IA POR PARTE DE PRIVADOS EN EL DESARROLLO DE SERVICIOS DE INTERÉS GENERAL O FUNCIONES PÚBLICAS. CONCLUSIONES. REFERENCIAS.

Resumen

El presente trabajo examina la interrelación entre el derecho administrativo y la inteligencia artificial (IA) en el contexto de la gestión energética, analizando sus implicaciones para la seguridad humana. Se exploran los desafíos que la incorporación de tecnologías algorítmicas plantea en términos de transparencia, explicabilidad, protección de datos y discrecionalidad en la toma de decisiones

administrativas. Con el advenimiento de la IA, las administraciones públicas tienen la oportunidad de mejorar la eficacia y personalización de los servicios, pero esta evolución debe ser guiada por marcos normativos sólidos que garanticen la salvaguarda de los derechos fundamentales.

Se subraya que la IA, aunque capaz de procesar enormes volúmenes de datos y ofrecer soluciones eficientes, puede amplificar sesgos existentes y poner en riesgo las garantías que ha ofrecido hasta hoy, el derecho administrativo. La falta de claridad en el funcionamiento de los algoritmos dificulta la rendición de cuentas, la motivación de los actos y la impugnación de decisiones automatizadas. En este sentido, se plantea la necesidad de establecer mecanismos de supervisión y regulación que permitan el control efectivo del uso de la IA en el ámbito público.

El artículo resalta la relevancia de un enfoque interdisciplinario que involucre las perspectivas del derecho, la ética y la tecnología, así como la importancia de formar adecuadamente al personal de las administraciones públicas en el uso de estas herramientas. Se aboga por la creación de una «reserva de humanidad» en procesos de toma de decisiones que requieren apreciaciones subjetivas, asegurando que la intervención humana siga siendo un componente esencial en el proceso de gestión de los servicios públicos.

En conclusión, el estudio enfatiza que, en la gestión energética, si la administración pública se apoya efectivamente en la inteligencia artificial, es fundamental desarrollar un marco normativo que favorezca la innovación responsable, protegiendo al mismo tiempo los derechos básicos de los ciudadanos contemplados en nuestro ordenamiento jurídico.

Abstract

This study examines the interplay between administrative law and artificial intelligence (AI) in the context of energy management, analysing its implications for human security. It explores the challenges posed by the incorporation of algorithmic technologies in terms of transparency, explainability, data protection, and discretion in administrative decision-making. With the advent of AI, public administrations have an opportunity to enhance the efficiency and personalisation of services; however, this evolution must be guided by robust regulatory frameworks that safeguard fundamental rights.

The paper underscores that while AI can process vast volumes of data and deliver efficient solutions, it may also amplify existing biases and jeopardise the guarantees traditionally afforded by administrative law. The opacity of algorithmic functioning hinders accountability, the duty to give reasons, and the challengeability of automated decisions. Accordingly, the study argues for supervision and regulatory mechanisms that enable effective oversight of AI use in the public sphere.

The article highlights the relevance of an interdisciplinary approach involving legal, ethical, and technological perspectives, as well as the importance of adequately training public officials in the use of these tools. It advocates the creation of a «reservation of humanity» in decision-making processes that require subjective judgement, ensuring that human intervention remains an essential component in the management of public services.

In conclusion, the study emphasises that, in energy management, where public administration relies on AI, it is vital to develop a regulatory framework that fosters responsible innovation while simultaneously protecting the basic rights of citizens recognised in our legal order.

Palabras clave

Derecho administrativo, inteligencia artificial, algoritmos, seguridad humana, gestión energética, regulación, privacidad, protección de datos, transparencia, discrecionalidad, motivación, rendición de cuentas.

Key words

Administrative law; artificial intelligence; algorithms; human security; energy management; regulation; privacy; data protection; transparency; discretion; duty to give reasons; accountability.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La interrelación entre el derecho administrativo y la inteligencia artificial se presenta como una cuestión crucial en el contexto contemporáneo, donde la evolución tecnológica transforma de manera vertiginosa diversas dimensiones de la actividad gubernamental¹. En particular, el sector energético se erige como un ámbito crítico en el que la aplicación de la inteligencia artificial (IA) tiene el potencial de incrementar la eficiencia en la gestión y optimizar los recursos disponibles. Sin embargo, este avance también plantea desafíos fundamentales que deben ser abordados para garantizar la aplicación correcta de nuestro derecho.

La acelerada adopción de la inteligencia artificial introduce nuevas dinámicas en la toma de decisiones administrativas, desafiando las estructuras tradicionales del derecho administrativo. Mientras que la IA puede facilitar respuestas más rápidas y adaptativas a las demandas sociales, su utilización genera preocupaciones en términos de transparencia, discrecionalidad y la

1. Skinner, C. (2018), *Digital Human. The fourth revolution of humanity includes everyone*, Wiley.

posible erosión de derechos individuales. Por lo tanto, es esencial considerar cómo estas tecnologías pueden ser implementadas de manera que se priorice la protección del principio de la confianza en el derecho administrativo² como derivado del principio de seguridad jurídica.

Con esta finalidad, el estudio se propone los siguientes objetivos fundamentales:

1. Examinar el impacto de la inteligencia artificial ante el derecho administrativo en cuanto a la regulación y supervisión del sector energético, enfatizando la necesidad de priorizar la seguridad humana y el interés general.
2. Analizar las implicaciones del uso de algoritmos en la toma de decisiones por parte de la Administración pública por lo que respecta a las cuestiones energéticas, con un enfoque particular en las cuestiones relacionadas con la protección de datos y la privacidad de los ciudadanos.
3. Proponer mecanismos efectivos que garanticen la rendición de cuentas tanto a nivel de las empresas que implementan la IA como de los diseñadores de sistemas algorítmicos involucrados en procesos que afecten a la gestión energética.
4. Evaluar la necesidad de un control judicial robusto sobre las decisiones automatizadas, asegurando que se salvaguarden los derechos fundamentales y se mantenga la transparencia en el procedimiento administrativo.
5. Fomentar un diálogo interdisciplinario que considere las diversas perspectivas del derecho, la ética y la tecnología, con el objetivo de fortalecer una acción administrativa orientada al interés general.

Para conseguir estos propósitos, este trabajo se desarrolló en el marco de una investigación cualitativa, desde un enfoque jurídico y doctrinal, además de incluir el análisis de políticas públicas sobre la intersección entre la inteligencia artificial (IA), la Administración y la seguridad humana, con una aplicación sectorial a la gestión energética y teniendo a España y a la Unión Europea como ámbito de referencia de la investigación. Se han priorizado fuentes primarias como la Ley 40/2015, de Régimen Jurídico del Sector Público, otras legislaciones autonómicas y estatales, comunicaciones y

2. García Luengo, J. (2002), *El principio de la protección de la confianza en el derecho administrativo*, Civitas.

guías de la Comisión Europea, entre otras, así como doctrina especializada. Adicionalmente, la estructura del análisis responde a su pertinencia para cinco variables, siendo estas: (i) transparencia y explicabilidad, (ii) discrecionalidad y automatización, (iii) protección de datos, (iv) control judicial y motivación, y (v) estandarización técnica.

A través de esta investigación, se busca contribuir a la creación de un marco normativo que contemple no solo las potencialidades de la inteligencia artificial en la gestión energética, sino que también ofrezca garantías sólidas de protección a los derechos de los ciudadanos y promueva un desarrollo tecnológico que respete los valores y principios de nuestro ordenamiento jurídico.

2. RECONCEPTUALIZANDO LA SEGURIDAD HUMANA: DE LOS ENFOQUES TRADICIONALES A LOS MODELOS ALGORÍTMICOS

Para Ballbé, la seguridad ha sufrido una profunda evolución en nuestro país. Durante siglos fue considerada solo como una cuestión de orden público, ligada al concepto de subversión, de persecución política y sindical, y con una profesión encargada de velar por ella: los militares (desde el siglo XII con las Órdenes religioso-militares, pasando por la Administración militar hasta los años 70). Sin embargo, el concepto militarista de la seguridad interior cambió con los regímenes constitucionales, sobre todo por el angloamericano con la creación de Scotland Yard y de su policía civil, preventiva y de proximidad. Ese fue el modelo que desarrollamos en los años 80 con la desmilitarización de nuestra policía a través de la Ley Orgánica de Fuerzas y Cuerpos de Seguridad, pero durante el cual seguíamos focalizando la seguridad en la criminalidad común y el terrorismo³.

Posteriormente el concepto evoluciona hacia la denominada sociedad del riesgo que considera la seguridad como protección integral en todos los campos donde se detecta un riesgo o un peligro para el ciudadano y su entorno (riesgos del tráfico, riesgos laborales, contaminación atmosférica, calidad del agua, discriminación positiva, riesgos de exclusión social, etc.). Por ello, la construcción de Naciones Unidas del concepto «seguridad humana» en su PNUD de 1994 dio un sentido integral y más completo de toda la ingente emergencia de nuevos derechos y valores que se fueron implantando y que dieron un nuevo sentido al Estado y a los movimientos

3. Ballbé, M., (2006), *Diàlegs d'Interior*, Generalitat de Catalunya, Biblioteca de Catalunya, núm. 1.

comunitarios que los consiguieron, creando lo que llamamos Estado Regulador (seguridad económica, alimentaria, seguridad en la salud, seguridad ambiental, seguridad laboral, etc).

Ciertamente, hemos superado el Estado anómico (sin regulaciones preventivas), hemos superado el Estado paternalista y unilateralmente protector, y llegamos a este Estado regulador donde el protagonismo se comparte con las organizaciones de la comunidad y donde la responsabilidad para la protección frente a los riesgos se traslada a las empresas a las que se les exige un papel activo en la prevención de estos riesgos (*Corporate social responsibility*)⁴. En este contexto, la seguridad humana, como seguridad integral, que ha sido tradicionalmente conceptualizada como el conjunto de condiciones que garantizan el bienestar y la protección de los individuos frente a amenazas diversas, ya sean físicas, sociales o económicas, en la actualidad va más allá de la protección de la dignidad humana y del respeto a los derechos fundamentales particularmente en contextos de conflicto y crisis. En la actualidad hemos de estar siempre alerta ante cualquier nuevo peligro o riesgo que pueda surgir tanto al ciudadano, como a su entorno.

La llegada de la era digital, caracterizada por la proliferación de la inteligencia artificial (IA), está conduciendo a una profunda reconfiguración de este paradigma de seguridad. Esta realidad nos invita a reflexionar sobre los peligros de dicha tecnología y a construir la transición de la gestión, la regulación y la ciencia del riesgo por lo que se refiere a los modelos algorítmicos de actuación administrativa.

Asimismo, debemos reflexionar sobre los nuevos derechos y deberes que afectan tanto al Estado, como a los ciudadanos y las empresas, ya que se está produciendo una globalización de la utilización de la IA pero con una fragmentación de las reglas utilizadas por cada comunidad, siendo diferente tanto su tratamiento como la protección de sus riesgos.

Por ello, la extensión de la IA debe ir aparejada de un exhaustivo análisis del riesgo, de una política nacional e internacional adecuada en la que los actores afectados tengan un papel activo (empresas y ciudadanos) y de una regulación y agencias reguladoras internacionales que velen por su cumplimiento. Se daría sentido así a la nueva idea de seguridad como superación de una visión estatocéntrica o administratocéntrica del riesgo, y pasando, gracias a las nuevas tecnologías como la IA, a la imbricación de lo público en lo privado y viceversa, pero siempre teniendo muy claros los límites de unos y otros.

4. Ballbé, M., Introducción, en Hood et al. (2006), *Gobierno del Riesgo*, Ariel.

Para clarificar esos límites deberemos definir la nueva realidad desmitificando sus habilidades. En este caso, la inteligencia artificial es una combinación de algoritmos diseñados para desarrollar sistemas computacionales que emulan capacidades humanas, y se fundamenta en un proceso que incluye aprendizaje, razonamiento, autocorrección y, en última instancia, automejora⁵. Para fines de este análisis, es pertinente distinguir entre dos tipos fundamentales de IA. Por un lado, encontramos aquellos sistemas que utilizan lógica basada en los principios racionales del pensamiento humano. Por otro, se hallan las complejas redes neuronales artificiales, cuya arquitectura les permite el aprendizaje recursivo (*deep learning*), capacitando al sistema para tomar decisiones que evolucionan con el tiempo sin que estas sean estrictamente determinadas ni explicables por los programadores⁶. Esto genera un proceso en el que la toma de decisiones se basa en la heurística y en patrones obtenidos de grandes volúmenes de datos⁷.

Es cierto que el potencial de la IA para procesar información a una velocidad y con una variedad que supera las capacidades humanas está siendo cada vez más reconocido y aprovechado por las administraciones públicas. En este contexto, la Comisión de la Unión Europea enfatizó y alertó en 2018 sobre la necesidad de dirigir «el poder de la IA al servicio del progreso humano»⁸, resaltando la urgencia de integrar esta tecnología de manera responsable y ética.

Ello no obstante, la transición hacia la seguridad humana algorítmica conlleva desafíos significativos que no podemos ignorar. Con la implementación de sistemas de IA, las administraciones deben enfrentarse a preocupaciones sobre la opacidad de los algoritmos y el riesgo de perpetuar sesgos que puedan comprometer los derechos fundamentales de los ciudadanos. Es imperativo que se establezcan marcos normativos robustos que no solo aborden la eficiencia administrativa, sino que también protejan la privacidad y aseguren la rendición de cuentas, evitando que el afán de optimización de recursos sacrifique derechos básicos tales como la no discriminación y la protección de datos personales en general, así como los principios del derecho administrativo en particular.

Por lo tanto, la redefinición de la seguridad humana en este nuevo contexto algorítmico demanda una revisión del rol de las administraciones

5. Tegmark, M., (2018), *Vida 3.0. Ser humano en la era de la inteligencia artificial*, Taurus.

6. Kaplan (2016), *Artificial intelligence*, Oxford University Press.

7. Coglianese, C. (2018), «Transparency and algorithmic governance», *Public law and legal theory research paper series research paper* n.18-38.

8. COM (2018) 237 final, de 25.04.2018.

públicas. En esta línea, quizás deberían asumir la responsabilidad de garantizar que los modelos de IA implementados no solo sean eficaces, sino que es esencial establecer mecanismos de supervisión y control que permitan a los ciudadanos comprender y participar en los procesos que les afectan.

En conclusión, la intersección entre la seguridad humana y los modelos algorítmicos exige un diálogo interdisciplinario que incorpore las perspectivas del derecho, la ética y la tecnología. A medida que avancemos hacia la integración de la inteligencia artificial en la gestión pública, debemos asegurar que su práctica no solo aproveche sus indudables ventajas, sino que también promueva un desarrollo tecnológico ético y que respete el interés general.

2.1. LA NUEVA MINERÍA PARA LA IA: LAS EMPRESAS OLIGOPOLISTAS DE LOS DATOS

Los avances en IA y aprendizaje automático han permitido a las administraciones públicas y a sus empresas concesionarias realizar un seguimiento exhaustivo de aspectos críticos como los movimientos patrimoniales y los consumos energéticos de la ciudadanía⁹. Este fenómeno se está convirtiendo en una presencia casi omnipresente en nuestras interacciones sociales y económicas. Sin embargo, esta capacidad de supervisión se sustenta en una fuente esencial: los datos.

A pesar de la percepción generalizada de que los datos son recursos sostenibles y gratuitos, es crucial reconocer que su generación se encuentra sujeta a limitaciones. Los datos, especialmente los personales, no son infinitos y pueden agotarse más rápidamente de lo anticipado, lo que impacta directamente en el entrenamiento y la efectividad de los modelos de IA¹⁰. Esta realidad subraya la dependencia tanto del sector público como del

9. El Parlamento Europeo afirma que «el concepto de macrodato se refiere a la recopilación, análisis y acumulación constante de grandes cantidades de datos, incluidos datos personales, procedentes de diferentes fuentes y objeto de un tratamiento automatizado mediante algoritmos informáticos y avanzadas técnicas de tratamiento de datos, utilizando tanto datos almacenados como datos transmitidos en flujo continuo, con el fin de generar correlaciones, tendencias y patrones (analítica de macrodatos)». Parlamento Europeo (2017). Resolución de 14 de marzo de 2017, sobre las implicaciones de los macrodatos en los derechos fundamentales: privacidad, protección de datos, no discriminación, seguridad y aplicación de la ley (2016/2225(INI)).

10. Cotino, L., (2019), «Riesgos e impactos del Big data, la inteligencia artificial y la robótica. Enfoques, modelos y principios de la respuesta del derecho», *Revista General de derecho administrativo*, n. 50.

privado de las empresas oligopolistas de datos, que poseen la información necesaria para alimentar la «metacognición» de los sistemas de IA y que, en consecuencia, pueden influir en decisiones públicas críticas que afectan la vida de millones de ciudadanos¹¹.

Los gigantes del Big Data (Google, Amazon, Apple, Meta y Microsoft) han consolidado su poder en este ámbito, enfatizando la afirmación de que «los datos son el nuevo petróleo de nuestra economía»¹². Esta nueva forma de capital se ha convertido en una mercancía altamente valorada, generando una industria en rápida expansión, mientras que las regulaciones existentes para proteger la gestión de estos datos son inadecuadas y dispersas. En este sentido, es imprescindible que el derecho administrativo actúe de manera proactiva para contrarrestar las amenazas oligopolistas a la privacidad y la seguridad pública.

El fenómeno ha llevado a describir nuestra realidad como un «Estado de excepción algorítmico», en el que la supervisión, la vigilancia y la acumulación masiva de datos provocan cambios profundos en la gobernanza y generan tensiones en la cohesión social¹³. La gestión de la información personal de millones de ciudadanos por parte de corporaciones como Meta y Google plantea el riesgo de la consolidación de un estado de control algorítmico que pone en entredicho las libertades individuales¹⁴.

Cathy O’Neil, en su obra «Armas de Destrucción Matemática», enfatizó la necesidad de regular la influencia de los algoritmos en la gestión de nuestras vidas, alertando que el uso indiscriminado de estos algoritmos puede

11. En este sentido, pueden llegar incluso a ser decisiones letales, cuando, en materia de seguridad nacional o seguridad ciudadana, los gobiernos puedan tener la tentación de emplear armas autónomas con IA. Vid. Martínez y Rodríguez, (2018): *Inteligencia artificial y armas letales autónomas. Un nuevo reto para Naciones Unidas*, Trea.
12. The Economist, «The world’s most valuable resource is no longer oil, but data. Regulating the Internet giants», https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data?utm_medium=cpc.adword.pd&utm_source=google&ppccampaignID=18151738051&ppcadID=&utm_campaign=a.22brand_pmax&utm_content=conversion.direct-response.anonymous&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwkdO0BhDxARIsAnkNcV26pBukMSSpZ-95CANnEwGsShZzGEZxidV6VOukw9Y0G8FCbnXbUUaAl1LEALw_wcB&gclsrc=aw.ds, 6/5/2017.
13. McQuillan, D. (2015), «Algorithmic states of exception», *European Journal of Cultural Studies*, vol. 18, p. 564.
14. Los monopolios globales con Meta o Google —que poseen y manejan la información más privada de millones de ciudadanos— están protegidos por una regulación que les es favorable, por lo que podemos decir que nos encaminamos hacia un Estado policial artificialmente inteligente.

aumentar la desigualdad y amenazar la democracia¹⁵. Ella argumenta que los procesos de Big Data tienden a codificar el pasado sin ofrecer un futuro equitativo, subrayando la necesidad de integrar valores éticos en el diseño algorítmico.

Los algoritmos complejos, al funcionar como «cajas negras», presentan una opacidad que dificulta la comprensión del razonamiento detrás de sus decisiones. Esto plantea importantes retos éticos y legales en la medida en que se les otorga poder decisonal sin una supervisión adecuada. Las Administraciones y sus concesionarias de servicios públicos de interés general deben ser capaces de utilizar la IA para ofrecer una acción pública que redunde en una seguridad humana transversal, utilizando el potencial que ofrece el aprendizaje de las máquinas, pero sin ausentarse completamente, o acabaremos convirtiéndonos en los nuevos siervos de las empresas monopolistas de los datos por propia desidia, autocomplacencia o irresponsabilidad al entregarles el poder biométrico o geoposicional que necesitan para existir.

Para ello, es vital establecer un marco normativo que regule el acceso y uso de datos, impidiendo que se conviertan en un «arma de destrucción matemática» que amenace el propio ordenamiento jurídico.

En suma, la intersección entre la inteligencia artificial y la gobernanza pública en la era de los datos ofrece tanto desafíos como oportunidades. La regulación adecuada y la creación de un marco normativo ético son esenciales. Debemos trabajar hacia un futuro en el que la implementación de la inteligencia artificial en la administración pública esté acompañada de la transparencia, la rendición de cuentas y la participación ciudadana, asegurando así que las nuevas tecnologías se utilicen de manera que beneficien a toda la sociedad¹⁶.

Las Administraciones públicas deben tener en cuenta que la importancia de los datos que acumulan aquellas empresas radica precisamente en su reutilización infinita. En este sentido, «el valor de los datos se calcula sobre la base de todas las formas posibles en las que podrían usarse en el

15. O'Neil, C. (2016), *Weapons of math destruction: how big data increases inequality and threatens democracy*, Broadway.

16. La conducta diaria del ciudadano, es decir, del cliente de servicios energéticos, genera una serie de datos en los que los aspectos públicos y privados se difuminan y sobre los cuales se derivan otras informaciones personales que, aunque la persona olvide, los sistemas conservan, acumulan y dan un uso económico que puede llegar a ser crucial para unos y otros. Fernando Pablo, M.M. (2021), «Inteligencia artificial y derecho administrativo: de la precaución a la garantía de los derechos», D. Terrón, J.L. Domínguez (Dir.), en *Inteligencia artificial y defensa: nuevos horizontes*, Aranzadi-Thomson, pág. 113.

futuro y no simplemente sobre la base de su uso actual»¹⁷. De esta forma, la recombinação de datos, su acumulación y su extensión, son su valor real y, por lo tanto, se justifica el impulso y el interés económico para su acumulación por parte de Google, Meta, X, Amazon y un largo etcétera de organizaciones que tienen en sus manos, también, la buena gestión de los intereses generales por lo que se refiere a la gestión energética, y que no podemos olvidar.

2.2. GARANTIZAR LA SEGURIDAD HUMANA PARA TENER UNA SEGURIDAD SIN SESGOS: DEL BIG DATA AL BIG KNOWLEDGE

La utilización de datos en el contexto de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático plantea una paradoja significativa. Aunque los datos pueden ser considerados recursos prácticamente eternos y repetibles, su uso sistemático puede cristalizar sesgos que reflejan los intereses de las organizaciones que los controlan. En particular, en el caso de datos personales, los individuos corren el riesgo de perder su identidad, lo que puede resultar en la privación de derechos fundamentales, incluidos aquellos relacionados con la privacidad y la autodeterminación.

La única manera de asegurar el progreso y la sostenibilidad de los derechos de los ciudadanos ante la utilización de la IA por parte de las administraciones públicas y sus concesionarias es, en primer lugar, a través de regulaciones efectivas que controlen la gestión de la información por parte de las empresas que dominan el mercado de los datos. En segundo lugar, es crucial que se garantice la intervención humana en los procesos de toma de decisiones que impliquen algoritmos complejos, asegurando así que no sólo se reúnan datos, sino que se transformen en conocimiento aplicable.

La IA permite aprender de los datos recolectados, sin embargo, es fundamental que las preguntas que se formulen en este proceso sean adecuadas, basadas en un análisis crítico y en el contexto social. La intervención humana se convierte en un componente esencial, ya que es el juicio humano el que determina qué datos son relevantes y significativos para tomar decisiones informadas.

El proceso de capturar y sistematizar conocimiento es inherentemente más complejo que la simple recolección de datos. Requiere una capacidad

17. Rosembuj, T. «Governing artificial intelligence», LLR, n. 2/2017. <http://elfisco.com/articulos/governing-artificial-intelligence-2>

para interpretar la información y justificar decisiones con un razonamiento que refleje valores éticos y jurídicos. Por lo tanto, es imperativo avanzar del concepto de Big Data al de Big Knowledge.

La noción de Big Knowledge implica no solo la comprensión y aplicación de datos, sino también su contextualización para obtener insights significativos que fundamenten decisiones informadas en las políticas públicas. En este sentido, se debe considerar que, tal como señala el académico Coglianese, los desafíos más relevantes surgirán cuando las administraciones no solo utilicen datos, sino que además integren la comprensión humana del contexto en el proceso de toma de decisiones¹⁸.

Uno de los principales retos es asegurarse de que existan profesionales adecuadamente formados que sean capaces de analizar y aplicar datos en forma efectiva, transformando grandes volúmenes de información en decisiones estratégicas y experiencias enriquecidas para los ciudadanos, especialmente en el ámbito de la energía.

En este contexto, Han ofrece una crítica pertinaz sobre cómo la sobrea-bundancia de información puede generar una fatiga informativa (*Information Fatigue Syndrome*, IFS). De acuerdo con Han, el Big Data no debe ser confundido con un aumento en el conocimiento; en gran medida, puede resultar en una superficialidad que desconecta a las personas de un entendimiento más profundo. Afirma que «el conocimiento total de datos es un desconocimiento absoluto del espíritu»¹⁹, destacando que la conexión digital ha dado origen a lo que denomina un «enjambré digital», caracterizado por individuos aislados sin un propósito colectivo, lo cual es incompatible con el objetivo de interés general que deben servir las políticas públicas.

Por lo tanto, el desarrollo de la IA presenta dos tendencias fundamentales: una que busca emular el funcionamiento del cerebro humano a través de redes neuronales artificiales, y otra que se orienta hacia la ingeniería del conocimiento, enfatizando un manejo automatizado y responsable de los datos²⁰. Esta segunda tendencia será analizada en las secciones siguientes.

18. Coglianese, C., *op.cit.*

19. Cotino, L., *op. cit.*

20. Fernando Pablo, M.M., (2021), «Inteligencia artificial y derecho administrativo: de la precaución a la garantía de los derechos», en *Inteligencia artificial y defensa: nuevos horizontes*, D.Terrón y J.L.Domínguez (Dir.), Aranzadi-Thomson, pág. 113.

2.3. LÍMITES DE LA GOBERNANZA ARTIFICIALMENTE INTELIGENTE EN EL SECTOR ENERGÉTICO: TIPOS DE AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS

La gobernanza digital busca que las administraciones públicas puedan servir a la ciudadanía de manera más ágil y precisa gracias a la incorporación de la inteligencia artificial (IA). De hecho, los poderes públicos están implementando cada vez más operaciones cibernéticas complejas para tomar decisiones regladas y automáticas, que se asemejan, en esencia, a cómo los seres humanos procesamos y transformamos la realidad²¹.

La automatización de procesos mediante IA permite a las entidades administrativas llevar a cabo tareas rutinarias, como la gestión de documentos, la evaluación de datos y la tramitación de expedientes. El impacto de la IA en el ámbito del derecho administrativo es ya evidente, ya que estas tecnologías aumentan la eficiencia y reducen los tiempos de espera para los ciudadanos.

En este contexto, es esencial distinguir entre dos tipos de algoritmos utilizados en la automatización de procesos:

A) Algoritmos Estáticos: Este tipo de algoritmos son aquellos cuyas reglas y criterios para la toma de decisiones son determinados por los programadores. En este caso, cuando una administración pública utiliza algoritmos estáticos para procesos automatizados, no se produce una delegación de funciones al algoritmo, ya que el operador proporciona tanto los datos de entrada como las salidas deseadas. En consecuencia, el poder de decisión permanece en manos de la administración, que ejercerá así sus potestades legalmente atribuidas. Sin embargo, cuando el diseño del algoritmo está controlado por una empresa privada, se corre el riesgo de que esta ejerza una influencia indebida sobre la toma de decisiones, lo que plantea cuestiones sobre la neutralidad y la imparcialidad en la gestión pública.

B) Algoritmos Dinámicos: Estos algoritmos son capaces de crear sus propias instrucciones y tomar decisiones que no han sido expresamente programadas. Similares a los algoritmos de aprendizaje profundo que emulan redes neuronales artificiales, estos sistemas pueden decidir sin que los humanos comprendan completamente los razonamientos detrás de esas decisiones. Esta delegación del poder decisional al sistema plantea serios desafíos éticos y legales, ya que se precisan normas que garanticen que las

21. Ramió, C. (2019), *Inteligencia artificial y administración pública: robots y humanos compartiendo el servicio público*, Catarata.

decisiones adoptadas no sean arbitrarias y respeten los derechos de los ciudadanos en su relación con la administración pública.

Es importante recordar que los algoritmos pueden facilitar prácticas colusorias, como la fijación de precios en mercados, o influir en decisiones de administración que deberían ser tomadas en función de consideraciones humanas²². Por lo tanto, el derecho administrativo debe adaptarse a este nuevo escenario, asumiendo las implicaciones de la utilización de estas capacidades de IA para delegar decisiones en algoritmos que podrían exhibir una eficacia superior a la de las decisiones humanas tradicionales²³.

El uso de la IA se ha ido integrando en la actividad diaria de la administración pública, por lo que es esencial maximizar sus ventajas mientras se previene la aparición de anomalías en sectores cruciales. Debemos ser cuidadosos de no caer en una situación en la que se desplace la implicación humana en la toma de decisiones a favor de algoritmos o de redes neuronales artificiales, que, en teoría, podrían garantizar una atención pública más eficiente.

Con respecto a las decisiones administrativas automatizadas, existe un consenso en que pueden constituir un verdadero acto administrativo. En efecto, el acto administrativo automatizado es aquel que es producido por un sistema informático sin intervención humana simultánea, y está reconocido en el artículo 41 de la Ley de Régimen Jurídico del Sector Público (LRJSP)²⁴. Sin embargo, se ha argumentado que cuando la LRJSP menciona la actuación administrativa automatizada, parece centrarse en la automatización de actos de trámite en lugar de considerar el uso de la inteligencia artificial en decisiones más complejas. Para asegurar mayor seguridad jurídica y transparencia, sería oportuno extender los criterios exigidos por la LRJSP para abarcar cualquier uso de la IA en la tramitación administrativa²⁵.

22. Fernando Pablo, M.M., (2021), *op.cit.*

23. Boix, A. (2020), «Los algoritmos son reglamentos: la necesidad de extender las garantías propias de las normas reglamentarias a los programas empleados por la administración para la adopción de decisiones», *Revista de Derecho Público: teoría y método*, Vol. 1, p. 226.

24. Asimismo, con anterioridad también la Ley 11/2007, de 22 de junio, de acceso electrónico de los ciudadanos a los Servicios Públicos, señalaba en su anexo que la actividad administrativa automatizada es aquella producida por un sistema de información adecuadamente programado sin necesidad de intervención de una persona física en cada caso singular.

25. Cerrillo, A., (2019), «El impacto de la Inteligencia artificial en el derecho administrativo ¿nuevos conceptos para nuevas realidades técnicas?», *Revista general de derecho administrativo*, 50.

Se puede concluir que es posible emplear la IA en automatismos para actos de trámite o resolutivos de carácter reglado, así como para actos de comunicación. Sin embargo, en nuestra perspectiva, tal como lo hemos defendido desde 2018²⁶, su uso nunca debería abarcar el ejercicio de potestades discrecionales. En este sentido, los actos automatizados a través de la IA deberían ser admitidos únicamente cuando se prevé una solución justa (acto reglado) y no cuando la resolución dependa de circunstancias concretas y particulares del interesado.

Es evidente que la actuación material de la administración pública puede ser impulsada por un algoritmo diseñado para ejecutar tales funciones, pero la responsabilidad de dicha actuación seguirá estando imputada al órgano competente, que será quien firme el acto. Por ende, los actos automatizados no deben afectar la titularidad de la competencia de los órganos administrativos, ni a las competencias designadas para la resolución de recursos administrativos, tal y como se destaca en el artículo 44.3 de la Ley catalana 26/2010, de RJPAPC.

Sin embargo, la regulación de la actividad administrativa automatizada en España presenta deficiencias significativas. Se ha descrito como débil y dispersa, presentando lagunas que afectan el acceso a información, el proceso de creación de algoritmos y la fundamentación de las decisiones adoptadas por estos sistemas automáticos²⁷. Esto refleja la necesidad de una revisión legislativa que aborde estas áreas críticas y establezca un marco normativo claro para el uso de la IA en la administración pública.

Se debe considerar que, aunque la IA puede generar actividad material o técnica, así como actos administrativos formalizados, tanto de trámite como resolutorios, la normativa actual no aborda adecuadamente el uso de la inteligencia artificial para la producción de disposiciones generales²⁸. Esta ausencia de regulación específica plantea cuestiones sobre la transparencia y la rendición de cuentas en la toma de decisiones automatizadas.

Por lo tanto, es necesario recomendar la prohibición del uso de la IA en el ejercicio de potestades discrecionales, así como en aquellas decisiones que requieran una evaluación subjetiva. Esto es particularmente importante para

-
26. Martínez, R., Rodríguez, J., (2018), *Inteligencia artificial y armas letales autónomas. Un nuevo reto para Naciones Unidas*, Trea, p.17 y ss.
 27. Ponce, J., (2019), «Inteligencia artificial, derecho administrativo y reserva de humanidad: algoritmos y procedimiento administrativo debido tecnológico», *Revista General de Derecho*, núm.50.
 28. Ponce, J. (2019), *ibídem*.

actos que involucran la consideración de factores humanos, tales como la empatía, la intuición o la interpretación de contextos sociales.

En resumen, la Ley catalana 26/2010 de RJPAP reconoce que los actos automatizados pueden ser admitidos, pero limita su aplicación a aquellos «que puedan adoptarse con una programación basada en criterios y parámetros objetivos». Este enfoque deja fuera aquellos actos administrativos que requieren un juicio subjetivo en su ponderación.

Finalmente, el verdadero reto reside en la inclusión de estas consideraciones en la práctica de la administración pública. La implementación de normas y criterios claros es esencial para evitar que la decisión automática se convierta en un obstáculo para la justicia y equidad en la gobernanza. Por lo tanto, es imperativo continuar analizando y abordando estos supuestos para garantizar que las decisiones tomadas por las administraciones ya sean automatizadas o no, se alineen con los principios fundamentales del derecho y la protección de los derechos humanos.

3. DERECHO ADMINISTRATIVO Y LAS DECISIONES DISCRECIONALES ANTE LA IA

Las competencias discrecionales en el ámbito del derecho administrativo implican un ejercicio de juicio humano, la interpretación del contexto y la valoración de factores cualitativos que pueden no ser completamente codificados en algoritmos. Este tipo de decisiones frecuentemente requiere de elementos como la empatía, la moral y una comprensión profunda de los impactos sociales, aspectos que son difíciles de replicar en sistemas de IA.

En este sentido, se ha argumentado que es imperativo establecer límites en la utilización de la IA para ciertas resoluciones, en aras de preservar lo que se puede denominar una «reserva de humanidad» en la toma de decisiones que demandan capacidades intrínsecamente humanas²⁹. Entre estas decisiones se encuentran los actos discrecionales, donde la actividad

29. Ponce, J. (2029), *op.cit.* Cabe decir que la expresión «perdiendo humanidad» procede del informe «Losing Humanity: the case against killer robots» elaborado por *International Human Rights Clinic* de 19 noviembre de 2012 a raíz de la alarma producida por la proliferación de la aplicación de los algoritmos y la IA en las armas militares y de cómo las Administraciones públicas empezaban a utilizarlas para delegar sus potestades en ellas, es decir, cuando advirtieron que las máquinas están empezando a ocupar el lugar de los humanos en el campo de batalla.
<https://www.hrw.org/report/2012/11/19/losing-humanity/case-against-killer-robots>

administrativa, aunque pueda contar con el apoyo de la IA, no puede ser completamente automatizada. La ponderación final que conduzca a una decisión debe ser, sin lugar a dudas, humana.

Cuando se trata de potestades que requieren apreciaciones subjetivas basadas en criterios extrajurídicos, se abre un espectro de alternativas al decisor público y a las entidades concesionarias, las cuales deben procurar garantizar el interés general. Esto implica que deben ejercer una intuición y empatía que son características del ser humano. En estos casos, la administración pública debe cumplir con las obligaciones jurídicas de una buena administración, ajustándose al estándar de diligencia debida, y no puede utilizar la IA de manera automática y sin un control humano significativo en el proceso de resolución³⁰.

La normativa actual no contempla explícitamente la necesidad de un elemento cognitivo fundamental, como es la intuición humana, en la regulación de las facultades públicas discrecionales. Este vacío puede deberse a una concepción tradicional en la que se asumía que los humanos serían los encargados de llevar a cabo estas decisiones.

Ciertamente, aunque los algoritmos complejos pueden estar diseñados para imitar ciertos procesos humanos y contener mecanismos integrativos, no poseen capacidades fenomenológicas. En otras palabras, la IA nunca podrá ser verdaderamente intuitiva ni experimentar emociones de manera auténtica; puede, en cambio, replicar patrones emocionales³¹. Como enfatiza el neurocientífico G. Rizzolatti, «la IA puede imitar, no sentir»³². La falta de consciencia en los sistemas de IA genera preocupaciones respecto a su capacidad para reemplazar a un decisor humano.

Por tanto, bajo el principio de precaución, es prudente limitar la utilización de algoritmos complejos en la toma de decisiones discrecionales, dado el riesgo que implicaría permitir que un ente artificial, careciendo de humanidad, asumiera el rol de decisor público. Reconocemos, empero, que la IA puede desempeñar un papel de soporte en la instrucción del procedimiento.

-
30. Martínez, R., Rodríguez, J., (2019), *Towards a new AI race. The challenge of lethal autonomous weapons systems (LAWS) for de United Nations*, Thomson Reuters Aranzadi, p.111.
 31. Howard, Zhang y Horvitz (2017), «Addressing bias in machine learning algorithms: a pilot study on emotion recognition for intelligent systems» en *IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts*, Austin.
 32. Rodella (2018), «Los robots pueden imitar, no sentir», *El País*, 28.4.2018. https://elpais.com/elpais/2018/04/26/ciencia/1524760728_658244.html

En definitiva, es fundamental establecer una reserva legal en el ejercicio de las potestades discrecionales, incluso aquellas de carácter técnico, a favor de seres humanos. Esto garantizará que se realice «el ejercicio humano de empatía en la diligente ponderación de los hechos, derechos e intereses en que consiste una buena administración»³³. Los algoritmos pueden ser herramientas valiosas que asistan en la toma de decisiones administrativas y mejoren la eficiencia en diversos ámbitos; sin embargo, las decisiones que implican competencias discrecionales requieren una intervención humana significativa para asegurar que se valoren adecuadamente los matices contextuales y éticos.

4. ALGORITMOS COMO FUENTE DEL DERECHO ADMINISTRATIVO

Los algoritmos, en su esencia, son herramientas diseñadas para procesar datos y generar resultados específicos. Sin embargo, no está del todo claro si poseen naturaleza normativa en sí mismos que los califique como fuentes del derecho³⁴, ya que no siempre establecen reglas generales aplicables a situaciones futuras, sino que frecuentemente implementan decisiones basadas en entradas de datos concretas y particulares.

En lo fundamental, los algoritmos operan mediante procedimientos de cálculo que cumplen con un conjunto de instrucciones y requieren un volumen significativo de datos específicos para resolver problemas planteados. Es pertinente distinguir entre un algoritmo y su codificación en pseudocódigo, el cual es un lenguaje descriptivo que facilita la escritura del código fuente correspondiente³⁵.

La Comisión de Garantía del Derecho de Acceso a la Información Pública de Cataluña, en su Resolución de la Reclamación 123/2016, subraya la importancia de diferenciar entre el algoritmo matemático, que constituye el

33. Rizzolatti, G., C. Sinigaglia, *Las neuronas espejo. Los mecanismos de la empatía emocional*, Paidós Ibérica, Barcelona, 2006.

34. Aunque autores como Boix así lo defienden. Boix, A. (2020), «Los algoritmos son reglamentos: la necesidad de extender las garantías propias de las normas reglamentarias a los programas empleados por la administración para la adopción de decisiones», *Revista de Derecho Público: teoría y método*, Vol. 1, p. 226.

35. Ponce, J. *Op.cit.* Vid. también PONCE, J. (2014) «Ciencias sociales, Derecho Administrativo y buena gestión pública. De la lucha contra las inmunidades del poder a la batalla por un buen gobierno y una buena administración mediante un diálogo fructífero», *Gestión y Análisis de Políticas Públicas*, <http://revistasonline.inap.es/index.php?journal=GAPP&page=article&op=view&path%5B%5D=10176>

objeto de la reclamación, y el código fuente del programa informático que lo implementa³⁶. Esta distinción es esencial para comprender el funcionamiento y las implicaciones legales de la automatización algorítmica en las decisiones administrativas.

Por lo tanto, en los procesos y decisiones públicas donde interviene la IA, es crucial establecer una regulación clara que designe el órgano competente para desarrollar tanto el código fuente como los algoritmos utilizados. Además, la publicación de estos elementos en repositorios oficiales accesibles al público es fundamental para respetar los principios de legalidad, transparencia y publicidad, así como para favorecer la participación ciudadana y la posibilidad de revisión. Aunque los algoritmos en sí mismos no sean considerados fuentes del derecho, su utilización en la toma de decisiones administrativas debe estar sujeta a un marco normativo claro.

Los algoritmos actúan como herramientas que implementan decisiones estandarizadas, y si en algún momento llegan a reflejar elementos propios de reglamentos, su consideración como tales requeriría una formalización legal que respalde su creación y uso dentro del marco jurídico aplicable.

En conclusión, el aprendizaje automático puede mejorar la capacidad de las administraciones para tomar decisiones más informadas, procesando conjuntos de datos mucho más extensos y rápidamente que lo que puede realizar un ser humano. Sin embargo, dado que los resultados de estas decisiones automatizadas tienen un impacto directo sobre la ciudadanía, es esencial que el procedimiento debido y la aplicación de estas decisiones cuenten con un reconocimiento formal como actos administrativos, garantizando así que se sometan al control y la supervisión de una autoridad competente³⁷.

36. Y sigue diciendo que «Cómo se ha señalado, el algoritmo, como conjunto de pasos que se tienen que seguir para resolver adecuadamente el problema planteado, puede ser expresado en palabras (lenguaje natural) (...), o, para mayor precisión (para evitar las ambigüedades del lenguaje natural), en lenguaje matemático. En los casos en que, (...) la aplicación del algoritmo es compleja atendido el gran número de variables existentes (...), y donde resulta necesario utilizar la potencia de cálculo de una computadora, hay que traducir este algoritmo matemático a lenguaje informático para que la computadora (mediante el programa informático correspondiente) lo pueda entender e implementar debidamente. El código fuente sería el conjunto de instrucciones escritas —en el lenguaje de programación que corresponda— del programa informático empleado para implementar el algoritmo».

37. Massaro, F. (2018), «Overview of the application of machine-learning in administrative law», *Administrative Conference of the United States*, 18 de julio [en línea], <<https://www.acus.org/publications/overview-of-the-application-of-machine-learning-in-administrative-law>>.

5. DESAFÍOS JURÍDICOS Y ÉTICOS: LA OPACIDAD DE LOS ALGORITMOS

La utilización de algoritmos en las actividades administrativas de toma de decisiones plantea importantes retos jurídicos. Entre ellos, se destacan la necesidad de garantizar la posibilidad de impugnación de los actos administrativos, la aclaración de la responsabilidad de los decisores, así como la prevención de decisiones automáticas que puedan resultar potencialmente arbitrarias o sesgadas.

Particularmente, los algoritmos complejos, como aquellos que utilizan aprendizaje profundo, a menudo carecen de la transparencia y la explicabilidad suficientes. Esta falta de claridad dificulta la comprensión del proceso seguido para alcanzar una determinada decisión y crea barreras significativas respecto a la supervisión de los actos y su posterior impugnación.

La Comunicación de la Comisión Europea de 2018 enfatiza la necesidad de establecer «un marco ético y jurídico apropiado, basado en los valores de la Unión y en consonancia con la Carta de los Derechos Fundamentales de la UE». Es fundamental que la característica de «caja negra» de los algoritmos complejos sea considerada seriamente, dado que ha sido alertado por expertos en derecho administrativo desde hace años.

En este sentido, Massaro señala que la administración pública debería poder utilizar esta tecnología con la premisa de que «el algoritmo aprende de los datos para producir una predicción». Este proceso se define como «caja negra» porque los humanos solo son capaces de observar las entradas y salidas del sistema. Sin embargo, es importante distinguir entre el aprendizaje automático y la inteligencia artificial en su total esfera de aplicación; mientras que el propósito de la IA es eliminar el error humano, los algoritmos de aprendizaje automático se limitan a generar predicciones basadas en patrones reconocidos³⁸.

No obstante, las Administraciones Públicas (AP) a menudo no publicitan los algoritmos que utilizan, o bien, si lo hacen, resulta complejo para los ciudadanos e incluso para las propias administraciones comprender su funcionamiento. Además, las AP deben velar por la protección de datos personales, así como por la confidencialidad y el secreto en el proceso de toma de decisiones. Si un algoritmo es diseñado tanto por los servicios técnicos de una AP como por una empresa externa, los diseñadores del algoritmo podrían asumir, sin

www.acus.gov/newsroom/administrative-fix-blog/overview-application-machine-learning-administrative-law. [17-8-2018].

38. Massaro (2018), op.cit.

licencia, la función de traducir las normas reguladoras de los procedimientos administrativos en instrucciones algorítmicas. Este fenómeno puede implicar un ejercicio de la potestad discrecional por parte de quienes no están legalmente autorizados, dado que se están concretando en instrucciones precisas para los sistemas informáticos las normativas vigentes³⁹.

Los profesores de derecho administrativo Coglianese y Lehr han planteado la cuestión de si el uso de herramientas de decisión robótica por parte de las agencias gubernamentales podría eludir doctrinas consagradas en el derecho administrativo y constitucional. Una regulación algorítmica mal gestionada podría contradecir varios principios esenciales, como la prohibición de delegar poderes específicos, el debido proceso, la igualdad entre partes, la motivación de los actos y la transparencia⁴⁰.

Ciertamente, la IA puede facilitar el análisis exhaustivo de grandes cantidades de datos públicos; sin embargo, su aplicación también puede complicar la rendición de cuentas, dado que los procesos automatizados operan como «cajas negras». Esta opacidad puede diluir la responsabilidad y complicar la impugnación de actos administrativos por la falta de herramientas que permitan una correcta motivación.

Los citados administrativistas advierten que el uso de algoritmos de aprendizaje automático puede optimizar la búsqueda del interés general en los procedimientos administrativos, siempre y cuando los funcionarios gubernamentales conserven el control final sobre la decisión, la acción y la especificación de los algoritmos, asegurándose de que el aprendizaje automático no evada los principios fundamentales antes mencionados.

Este contexto plantea una característica común: la opacidad en la toma de decisiones administrativas. Para contrarrestar esta opacidad, la doctrina ha defendido que la garantía de un buen gobierno y buena administración debe pasar por varios mecanismos⁴¹, incluyendo:

- a. La construcción de un procedimiento administrativo debido para la aprobación de los algoritmos, y el derecho a una explicación comprensible del funcionamiento de los mismos, ya sea a través de notificaciones, publicaciones o plataformas digitales.

39. Cerrillo, A., (2019), «El impacto de la inteligencia artificial en el derecho administrativo ¿nuevos conceptos para nuevas realidades técnicas?», *Revista General de Derecho*, núm. 50.

40. Coglianese y Lehr (2017), «Regulating by Robot: Administrative Decision Making in the Machine-Learning Era», febrero, *Georgetown Law Journal*, vol.105, p. 1147. *U of Penn, Inst for Law & Econ Research Paper* No. 17-8. p. 3. <https://ssrn.com/abstract=2928293>

41. Ponce, J. (2019), *op.cit.*

- b. La utilización de *software* de código abierto o fuentes abiertas para facilitar la transparencia.
- c. La promoción de la publicidad activa y el derecho de acceso tanto a los algoritmos como al código fuente.
- d. La prevención y control de sesgos en los algoritmos para evitar cualquier tipo de discriminación.
- e. La evaluación del impacto en la protección de datos personales derivados de la utilización de estos algoritmos.

Es crucial destacar que cuando un algoritmo de aprendizaje automático toma decisiones sin la supervisión humana adecuada, su capacidad para adoptar decisiones autónomas se vuelve altamente independiente del marco de control. Por ello, resulta esencial la atención sobre los datos de entrada y sobre las razones detrás de las decisiones que se toman, asegurando que estas sean jurídicamente plausibles y no arbitrarias, incluso si la decisión es correcta dentro de la operatividad del sistema algorítmico⁴².

En el contexto del sector energético, es fundamental considerar que, si los algoritmos y códigos fuente son desarrollados por contratistas de la administración, este hecho implicaría que dichos contratistas estarían asumiendo una función pública al aprobar un programa informático de aplicación normativa. Esta dinámica sugiere la necesidad de extender los principios y reglas del procedimiento administrativo debido también a los entes privados que colaboran con la administración⁴³.

Por esta razón, se ha argumentado que la adopción de determinados sistemas de IA por parte de las administraciones públicas en su ámbito de actuación debería requerir una habilitación legal previa. Esto no solo es necesario debido a su impacto sobre datos de carácter personal, sino también porque el principio de legalidad exige que dicha delegación de poder sea autorizada de acuerdo con un marco normativo.

La regulación de la inteligencia artificial en el ámbito administrativo necesita ser robustecida, ya que la falta de un marco claro puede llevar a abusos en la utilización de tecnologías emergentes que afectan a la vida cotidiana de los ciudadanos. Para garantizar que la innovación tecnológica sirva a los intereses de la sociedad y no a los de unos pocos, es imperativo

42. Fernando Pablo, M.M., (2021) op.cit. pág. 118.

43. Ponce, J. (2019) op.cit.

establecer normativas que pongan en el centro de la toma de decisiones la protección de los derechos humanos y la promoción del bienestar social.

En conclusión, los algoritmos, aunque son herramientas poderosas para la automatización y la eficiencia, requieren una supervisión humana significativa para asegurar que sus aplicaciones en la administración pública sean transparentes, responsables y justas. Sin una regulación y control adecuados, corremos el riesgo de que la opacidad y la falta de rendición de cuentas en la toma de decisiones automatizadas socaven los principios fundamentales del derecho administrativo y, por ende, la confianza pública en las instituciones.

6. LA SOLUCIÓN A UN ESTADO DE EXCEPCIÓN ALGORÍTMICO: REGULACIÓN Y CONTROL DE LA IA

6.1. ESTANDARIZACIÓN DE LOS ALGORITMOS COMO LÍMITE A SU USO

Los algoritmos, en su función esencial, parecen cumplir una «función material estrictamente equivalente a la de las normas jurídicas», ya que regulan y predeterminan la actuación de los poderes públicos⁴⁴. Sin embargo, si se acepta esta equiparación, es crucial que a los algoritmos se les exijan las mismas garantías que a cualquier norma de rango reglamentario, tales como ser inalterables, públicos y recurribles.

En la práctica, esta situación dista de la realidad. Los sistemas que incorporan inteligencia artificial evolucionan constantemente debido a la retroalimentación de datos que reciben de la nube, lo que genera, como hemos dicho, un efecto de «caja negra». Esto implica que los mecanismos utilizados para llegar a decisiones pueden volverse indescifrables, volviendo difícil no solo su comprensión por parte de los ciudadanos, sino también por parte de las autoridades competentes que supervisan su aplicación.

La introducción de sistemas computacionales en el ámbito del derecho promete influir en las bases mismas de la ordenación jurídica. Ya se ha alertado sobre los riesgos que surgen al utilizar algoritmos en la toma de decisiones públicas bajo el pretexto de lograr una mayor eficiencia⁴⁵. Tal como señala Boix, «dada la magnitud del riesgo en cuestión y la irreversibilidad

44. Boix Palop, A., (2020) «Los algoritmos son reglamentos: la necesidad de extender las garantías propias de las normas reglamentarias a los programas empleados por las administraciones para la adopción de decisiones», *Revista de Derecho Público*, vol. 1, p. 225.

45. Boix Palop, A., (2007), «De McDonald's a Google: la ley ante la tercera revolución productiva», *Teoría y Derecho*, núm.1, p.141-145.

de la pérdida de control sobre estas inteligencias a partir de un determinado momento del proceso»⁴⁶, es necesario ir más allá del principio de precaución en su forma tradicional, adoptando una noción de precaución que refleje las exigencias del nuevo entorno.

Para que se produzca un control efectivo sobre estos sistemas, resulta primordial la creación de un nuevo marco regulatorio interdisciplinario. Este podría incluir normas de autorregulación regulada o incentivada, así como normas públicas y privadas, estándares técnicos y códigos de buenas prácticas, los cuales pueden variar en su grado de vinculación y aplicación.

En este sentido, se ha planteado la estandarización técnica internacional como una posible vía para alcanzar este marco regulatorio. No obstante, debe ser objeto de advertencia el hecho de que, una vez adoptadas por el sector privado, tales regulaciones, a menudo protegidas por derechos de propiedad intelectual, pueden terminar siendo conferidas a los Estados e instituciones, delegando así poderes a la esfera privada. Esta situación puede dar lugar a un fenómeno en el que las normativas públicas remiten o dependen directamente de versiones de normas técnicas privadas, lo que puede llegar a garantizar la adecuación sin la necesidad de establecer modificaciones normativas⁴⁷.

Es fundamental que los diferentes sectores implicados —ciudadanos, instituciones y empresas— participen no solo en la fase de elaboración de normas, sino también en su implementación, con el objetivo de identificar las técnicas más eficaces y eficientes para proteger los derechos fundamentales y asegurar los principios de buena administración. En este ámbito, juegan un papel crucial tanto los juristas y programadores de algoritmos como los especialistas en tecnología de la información y los expertos en seguridad cibernética.

Solo a través de este enfoque interdisciplinario, que refleje la naturaleza híbrida de los algoritmos, será posible comenzar a abordar estos desafíos y establecer una protección legal efectiva. Para ello, es esencial que «los parlamentos nacionales se doten de estructuras adecuadas para la evalua-

46. Boix Palop, A., (2020), *op.cit.*

47. Tarrés Vives, Marc. (2003). «Las normas técnicas en el Derecho Administrativo», en *Documentación administrativa*, n° 265-266, pp. 151-184. Darnaculleta, María M. (2005). *Autorregulación y Derecho Público: la autorregulación regulada*, Marcial Pons, Barcelona recomendada su lectura en Cotino, L., (2019), «Riesgos e impactos del Big data, la inteligencia artificial y la robótica. Enfoques, modelos y principios de la respuesta del derecho», *Revista General de derecho administrativo*, n. 50.

ción tecnológica y promuevan programas de sensibilización e intercambio regular entre profesionales de las ciencias humanas y sociales y aquellos de las ciencias tecnológicas»⁴⁸.

Dado que se trata de una materia de naturaleza interdisciplinaria con intereses múltiples y a veces contrapuestos, sería deseable establecer un organismo especializado dentro de los consejos de las agencias reguladoras del sector o incluso la creación de una agencia *ad hoc* que aborde de manera integral las complejidades derivadas del uso de inteligencia artificial en la administración pública.

6.2. EFECTO CALIFORNIA, EFECTO BRUSELAS... O EFECTO BEIJING

Actualmente, nos encontramos ante una situación novedosa que emerge de la delegación de diversas acciones por parte de los responsables públicos a algoritmos⁴⁹. Esta complejidad ha sido reconocida incluso por figuras prominentes en la industria tecnológica; por ejemplo, Mark Zuckerberg, CEO de Facebook, señaló implícitamente en el Congreso estadounidense que estamos ante un estado anómico y que es crucial no dejar todo en manos del libre mercado, afirmando que «la regulación federal de Facebook y otras compañías de Internet es inevitable»⁵⁰.

Al considerar el papel de la regulación a nivel internacional, hace unos años se pensaba que Estados Unidos lideraría con su legislación federal, con efectos extraterritoriales, tal como ha sucedido con la Ley de Prácticas Corruptas en el Extranjero de 1977 (FCPA). Sin embargo, en la actualidad observamos una carrera competitiva⁵¹ entre Estados Unidos, Europa y China, manifestándose a través de consideraciones como el «Efecto California»⁵², el «Efecto Bruselas» y el «Efecto Beijing». Cada uno de estos marcos

48. Parte del discurso del parlamentario Le Déaut ante el Consejo de Europa, recogido en Cotino, L., (2019), «Riesgos e impactos del Big data, la inteligencia artificial y la robótica. Enfoques, modelos y principios de la respuesta del derecho», *Revista General de derecho administrativo*, n. 50.

49. De La Cueva, J. (2018) «Código fuente, algoritmos y fuentes del Derecho», *El notario del siglo XXI: revista del Colegio Notarial de Madrid*, núm. 77, p. 24.

50. Kang y Roose (2018), «Zuckerberg faces hostile Congress as calls for regulation mount», *The New York Times*, 11 de abril de 2018.

51. Ballbé, M., Padrós, C. (1999), *Estado competitivo y armonización europea*. Ariel.

52. Ballbé, M. y Martínez, R. (2009), «Law and globalization: between the United States and Europe», en *Global Administrative Law*, Edited by J. Robalino and J. Rodríguez-Arana, Cameron May, London.

regulatorios busca posicionarse como una solución a la anomalía provocada por las nuevas tecnologías emergentes.

La Unión Europea ha sabido aprovechar su mercado único para establecer regulaciones y estándares que, debido a la necesidad de las empresas globales de acceder a dicho mercado, son adoptados a nivel mundial. Este fenómeno ha permitido a la UE ejercer una notable influencia regulatoria en áreas como la protección de datos, la seguridad de los productos y las exigencias medioambientales, logrando así «exportar» sus normativas más allá de sus fronteras e impactando las prácticas empresariales y los estándares tecnológicos a nivel global.

Sin embargo, en el ámbito específico de la regulación de la inteligencia artificial, se podría estar presenciando lo que algunos expertos denominan un «efecto Bruselas inverso»⁵³. A diferencia de lo que ocurrió con el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), la Ley de IA de la UE no parece estar generando la misma influencia a nivel de adopción global. Mientras que varios países están estudiando el enfoque basado en riesgos promovido por la UE, muchos han optado por no seguir su modelo regulatorio de manera directa.

Esta divergencia puede atribuirse a varios factores, tales como: a. La naturaleza específica de la tecnología de IA, que difiere de las regulaciones de datos más generalistas; b. Los principios de responsabilidad de la UE, que no son transferibles a otros sistemas legales; c. La importancia estratégica y económica de la IA, que lleva a los países a adaptar sus regulaciones a sus propias condiciones de mercado y objetivos de innovación.

En este contexto, es igualmente importante mencionar la reciente decisión del expresidente Donald Trump de revocar órdenes ejecutivas relacionadas con la gobernanza de la inteligencia artificial. Esta medida ha sido interpretada como parte de una tendencia desreguladora que podría facilitar el funcionamiento descontrolado de tecnologías emergentes, lo que plantea preocupaciones sobre el impacto en los derechos individuales y en la supervisión pública.

Frente a esta situación, también consideramos el papel de otros actores clave en el desarrollo de la IA. En Estados Unidos, el proyecto de ley SB-1047 de California, de ser aprobado, podría generar un «efecto California» en la regulación de la IA. Sin embargo, parece que dicho proyecto se limitaría a exigir que las empresas de Silicon Valley implementen ciertas salvaguardas

53. Vid. Rodríguez, J., (2025) «El futuro en juego: Cambio Climático, Red Eléctrica y la Gran Carrera hacia la Inteligencia Artificial General» (en esta obra).

en sus servicios relacionados con modelos de fundación, lo cual podría aumentar los costos de las interfaces de programación de aplicaciones (API) y afectar la cadena de suministro de IA, pero no necesariamente induciría a una alineación global en términos de prácticas de seguridad.

Así, en la discusión sobre «globalización-europeización» versus «globalización-americanización», estamos viendo surgir un nuevo competidor: China, con su política de estándares integrales aplicados a su sistema de IA.

Dado el papel emergente de China en el comercio global, este enfoque podría tener éxito en la estandarización de especificaciones y prácticas de IA. Sin embargo, es probable que inicialmente se concentre en las cadenas de suministro nacionales y en aquellas relacionadas con el programa «Belt and Road»⁵⁴.

Este «efecto Beijing» ilustra cómo diferentes potencias tecnológicas están tomando enfoques singulares en la regulación de la IA, contribuyendo a un panorama regulatorio global cada vez más diverso y complejo. En este sentido, el contenido de los algoritmos empleados y su alineación con los derechos individuales y la seguridad nacional son cuestiones que no deben ser subestimadas.

Los Estados Unidos tienden a *priorizar* la libertad de mercado y la innovación privada, un enfoque que, si bien puede facilitar la creación de nuevas tecnologías, conlleva también riesgos significativos para la privacidad y los derechos de los usuarios si no se regula adecuadamente. La ausencia de un marco legal claro podría dar lugar a la explotación de datos personales sin la debida protección, comprometiendo así los principios básicos del estado de derecho.

Por su parte, la Unión Europea intenta equilibrar el avance tecnológico con la protección de derechos fundamentales, tales como la privacidad, la no discriminación y la transparencia en la utilización de algoritmos. Este enfoque regulador busca garantizar que el desarrollo de la IA no se realice a expensas de derechos humanos esenciales, promoviendo al mismo tiempo la innovación responsable.

Finalmente, China adopta un enfoque diferente, subordinando con mayor frecuencia los derechos individuales a los intereses estatales y de seguridad nacional. Su sistema de vigilancia digital más desarrollado a nivel mundial pone de manifiesto una estrategia que prioriza el control sobre la información y el análisis de datos, lo que plantea interrogantes sobre las libertades civiles y los derechos humanos en el contexto de su gobernanza tecnológica.

54. Vid. Rodríguez, (2025). J., *ibídem*.

Estas diferencias en los enfoques regulatorios reflejan visiones contrastantes sobre el equilibrio entre la innovación tecnológica, los derechos individuales y la seguridad nacional. Lo anterior tiene implicaciones importantes para establecer los estándares que regirán los algoritmos utilizados en la IA a nivel global.

Dado que quien controle estos estándares también influirá en el futuro de la tecnología, la forma en que se regule la inteligencia artificial tendrá repercusiones directas en la vida de los ciudadanos. Esta interacción redefine conceptos fundamentales, como la privacidad, la autonomía y la justicia social en la era digital, implicando que la responsabilidad final recae no solo en los legisladores, sino también en los entes reguladores y en las instancias para el control de las tecnologías emergentes.

El futuro de la tecnología no estará solamente determinado por su capacidad técnica, sino también por la capacidad de las sociedades para establecer estructuras legales que protejan los derechos ciudadanos y fomenten el bienestar común.

En este escenario, es esencial que los procesos de regulación en el ámbito de la IA sean inclusivos, transparentes y adaptados a las exigencias de la sociedad actual, garantizando así un desarrollo tecnológico que esté al servicio del interés general y del respeto a la dignidad humana.

7. EL USO DE LA IA POR PARTE DE PRIVADOS EN EL DESARROLLO DE SERVICIOS DE INTERÉS GENERAL O FUNCIONES PÚBLICAS

La inteligencia artificial (IA) tiene el potencial de influir positivamente en la personalización y la prestación proactiva de los servicios públicos, permitiendo que estos se adapten de manera más efectiva a las necesidades y preferencias individuales de los ciudadanos. Este enfoque proactivo tiene como objetivo anticipar la provisión de servicios en función de las solicitudes que los usuarios o ciudadanos puedan realizar, utilizando para ello el análisis de datos a través de algoritmos avanzados.

En ciertos casos, el análisis de grandes volúmenes de datos manejados por las administraciones públicas puede facilitar la identificación de patrones de comportamiento y pautas de conducta. Esta comprensión, a su vez, puede permitir a las empresas que ofrecen estos servicios personalizar su prestación, ajustando sus ofertas a las necesidades y circunstancias específicas de los usuarios.

Asimismo, en situaciones donde se dispone de datos personales dispersos en diversas administraciones públicas, el análisis de la información puede permitir prever las necesidades de los ciudadanos. Esto posibilitará que las administraciones puedan ofrecer proactivamente servicios públicos, como la gestión de subsidios o la tramitación de autorizaciones. Por ejemplo, mediante el uso de IA, se pueden iniciar procedimientos de oficio para la obtención de ayudas, subvenciones o la liquidación de impuestos relacionados con el sector energético, respondiendo así de manera más eficiente a las demandas de los ciudadanos.

Es esencial que, en el ámbito de la inteligencia artificial, se mantenga un enfoque ético y responsable en la recolección y uso de datos personales. La implementación de estas tecnologías debe ser guiada por principios que garanticen la privacidad de los ciudadanos y el respeto a sus derechos, promoviendo la transparencia en los procesos automatizados.

Además, al utilizar IA para el diseño y la ejecución de servicios de interés general, las empresas deben ser conscientes de su responsabilidad en la protección de los datos que manejan. Esto implica no solo cumplir con la normativa vigente, sino también fomentar prácticas que aseguren la confianza pública en el uso de la tecnología y su capacidad para mejorar la calidad de los servicios ofrecidos.

El uso de la inteligencia artificial en el desarrollo de servicios de interés general representa una oportunidad valiosa para innovar y mejorar la interacción entre el estado y los ciudadanos. Sin embargo, se requiere una supervisión adecuada para garantizar que dicha innovación no socave los derechos individuales y permita una gestión del bienestar colectivo que sea equitativa y accesible para todos.

Por lo tanto, es fundamental promover un diálogo continuo entre el sector público y privado, que facilite la colaboración en el desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas que respondan a las necesidades de la sociedad y que, al mismo tiempo, resguarden los principios fundamentales del derecho administrativo.

CONCLUSIONES

El presente análisis sobre la intersección entre el derecho administrativo y la inteligencia artificial (IA) en el sector energético y su impacto en la seguridad humana pone de manifiesto la necesidad urgente de establecer marcos normativos robustos que regulen la interacción de estas dos esferas.

La rápida evolución de la tecnología y su integración en la administración pública han revelado tanto oportunidades como desafíos que requieren una atención cuidadosa de los legisladores, administradores y académicos.

En primer lugar, es fundamental reconocer que la implementación de la IA en la toma de decisiones administrativas puede conllevar importantes beneficios en términos de eficiencia y adecuación a las necesidades de los ciudadanos. Sin embargo, este potencial debe ser equilibrado con la obligación de proteger los derechos humanos fundamentales, especialmente en lo que respecta a la privacidad y la protección de datos. La capacidad de la IA para procesar grandes volúmenes de datos puede facilitar la personalización de servicios públicos, pero también incrementa el riesgo de sesgos y discriminaciones si no se regula adecuadamente.

El concepto de «Estado de excepción algorítmico» que ha surgido en nuestra actualidad destaca la necesidad de abordar la opacidad inherente a las decisiones automatizadas. Los algoritmos, en su complejidad, suelen operar como «cajas negras», dificultando la comprensión de sus procesos y resultados. Esta falta de transparencia plantea un reto significativo para la rendición de cuentas y la posibilidad de impugnación de decisiones, aspectos esenciales del derecho administrativo. Por lo tanto, es imperativo establecer prácticas que aseguren la supervisión de los algoritmos y la claridad sobre los criterios utilizados en la toma de decisiones.

Asimismo, el análisis evidencia que la regulación de la IA no puede depender exclusivamente de los avances tecnológicos o de una competencia entre potencias globales como Estados Unidos, la Unión Europea y China. Cada una de estas jurisdicciones aporta su propio enfoque normativo, que a menudo refleja un equilibrio entre la innovación y la protección de los derechos individuales. En particular, la Unión Europea, con sus regulaciones como el RGPD, ha sentado un precedente en la creación de estándares que podrían ser adoptados globalmente. Sin embargo, se observa una tendencia a la resistencia a la adopción de normas coherentes, lo que podría resultar en un mosaico regulatorio fragmentado.

Adicionalmente, es esencial fomentar un enfoque interdisciplinario que integre perspectivas del derecho, la ética y la tecnología. Este diálogo es vital para establecer una regulación que efectivamente proteja los derechos ciudadanos en un entorno donde los algoritmos se convierten en protagonistas en la toma de decisiones públicas. En este sentido, la formación y actualización de los funcionarios públicos respecto al uso y control de la IA se presentan como requisitos fundamentales para garantizar que las decisiones administrativas reflejen principios de justicia y equidad.

Finalmente, cualquier intento de implementación de tecnologías de IA en la Administración Pública debería incorporar una «reserva de humanidad» en aquellas decisiones que implican juicios de valor o consideraciones subjetivas. Entre estas decisiones se encuentran los actos discrecionales, donde la actividad administrativa, aunque pueda contar con el apoyo de la IA, no puede ser completamente automatizada. Es crucial que la intervención humana mantenga un papel central en el proceso de toma de decisiones, especialmente en aquellas que afectan directamente a la ciudadanía.

En conclusión, la intersección entre el derecho administrativo y la inteligencia artificial en el sector energético resalta la necesidad de una regulación efectiva y proactiva que permita un equilibrio entre la innovación tecnológica y la salvaguarda de los derechos fundamentales. Solo a través de un marco normativo claro, la transparencia en los procesos y la formación adecuada de los responsables públicos podremos abordar los retos y aprovechar las oportunidades que presenta la IA en un contexto que priorice la seguridad humana y el bienestar de la sociedad en su conjunto.

REFERENCIAS

Ballbé, Manuel (2006), *Diàlegs d'Interior*, Generalitat de Catalunya, Biblioteca de Catalunya, núm. 1.

Ballbé, Manuel, «Introducción», en Hood, C. et al. (2006), *Gobierno del riesgo*, Ariel.

Ballbé, Manuel; Padrós, Carlos (1999), *Estado competitivo y armonización europea*, Ariel.

Ballbé, Manuel; Martínez, Roser (2009), «Law and globalization: between the United States and Europe», en Robalino, J.; Rodríguez-Arana, J. (eds.), *Global Administrative Law*, Cameron May, London.

Boix Palop, Andrés (2007), «De McDonald's a Google: la ley ante la tercera revolución productiva», *Teoría y Derecho*, núm. 1, págs. 141-145.

Boix Palop, Andrés (2020), «Los algoritmos son reglamentos: la necesidad de extender las garantías propias de las normas reglamentarias a los programas empleados por la administración para la adopción de decisiones», *Revista de Derecho Público: teoría y método*, vol. 1, p. 226.

Cerrillo, Agustí (2019), «El impacto de la inteligencia artificial en el derecho administrativo: ¿nuevos conceptos para nuevas realidades técnicas?», *Revista General de Derecho Administrativo*, núm. 50.

Cerrillo, Agustí (2019), «El impacto de la inteligencia artificial en el derecho administrativo: ¿nuevos conceptos para nuevas realidades técnicas?», *Revista General de Derecho*, núm. 50.

Coglianese, Cary (2018), «Transparency and algorithmic governance», *Public Law and Legal Theory Research Paper series*, Research Paper n.º 18-38.
Coglianese, Cary; Lehr, David (2017), «Regulating by robot: Administrative decision making in the machine-learning era», *Georgetown Law Journal*, vol. 105, p. 1147. <https://ssrn.com/abstract=2928293>

COM (2018) 237 final (2018), de 25.04.2018.

Cotino, Lorenzo (2019), «Riesgos e impactos del Big Data, la inteligencia artificial y la robótica. Enfoques, modelos y principios de la respuesta del derecho», *Revista General de Derecho Administrativo*, núm. 50.

Darnaculleta, María M. (2005), *Autorregulación y Derecho Público: la autorregulación regulada*, Marcial Pons, Barcelona.

De la Cueva, Javier (2018), «Código fuente, algoritmos y fuentes del Derecho», *El Notario del Siglo XXI: revista del Colegio Notarial de Madrid*, núm. 77, p. 24.

The Economist (2017), The world's most valuable resource is no longer oil, but data: Regulating the internet giants, 6/5/2017. <https://www.economist.com/leaders/2017/05/06/the-worlds-most-valuable-resource-is-no-longer-oil-but-data>

Fernando Pablo, M. M. (2021), «Inteligencia artificial y derecho administrativo: de la precaución a la garantía de los derechos», en Terrón, D.; Domínguez, J. L. (dirs.), *Inteligencia artificial y defensa: nuevos horizontes*, Aranzadi-Thomson, pág. 113.

García Luengo, Javier (2002), *El principio de la protección de la confianza en el derecho administrativo*, Civitas.

Human Rights Watch (2012), *Losing humanity: The case against killer robots*, 19 de noviembre de 2012. <https://www.hrw.org/report/2012/11/19/losing-humanity/case-against-killer-robots>

Howard, A.; Zhang, Y.; Horvitz, E. (2017), Addressing bias in machine learning algorithms: A pilot study on emotion recognition for intelligent systems, en *IEEE Workshop on Advanced Robotics and Its Social Impacts*, Austin.

Kang, Cecilia; Roose, Kevin (2018), Zuckerberg faces hostile Congress as calls for regulation mount, *The New York Times*, 11 de abril de 2018.

Kaplan (2016), *Artificial intelligence*, Oxford University Press.

Martínez, Roser; Rodríguez, José (2018), *Inteligencia artificial y armas letales autónomas. Un nuevo reto para Naciones Unidas*, Trea. Martínez, Roser; Rodríguez, José (2019), *Towards a new AI race. The challenge of lethal autonomous weapons systems (LAWS) for the United Nations*, Thomson Reuters Aranzadi, p. 111.

Massaro, Francesco (2018), «Overview of the application of machine-learning in administrative law», *Administrative Conference of the United States*, 18 de julio. <https://www.acus.gov/newsroom/administrative-fix-blog/overview-application-machine-learning-administrative-law>

McQuillan, Dan (2015), «Algorithmic states of exception», *European Journal of Cultural Studies*, vol. 18, p. 564.

O'Neil, Cathy (2016), *Weapons of math destruction: how big data increases inequality and threatens democracy*, Broadway.

Parlamento Europeo (2017), *Resolución de 14 de marzo de 2017 sobre las implicaciones de los macrodatos en los derechos fundamentales: privacidad, protección de datos, no discriminación, seguridad y aplicación de la ley* (2016/2225(INI)).

Ponce, Juli (2014), «Ciencias sociales, Derecho Administrativo y buena gestión pública. De la lucha contra las inmunidades del poder a la batalla por un buen gobierno y una buena administración mediante un diálogo fructífero», *Gestión y Análisis de Políticas Públicas*. <http://revistasonline.inap.es/index.php?journal=GAPP&page=article&op=view&path%5B%5D=10176>
Ponce, Juli (2019), «Inteligencia artificial, derecho administrativo y reserva de humanidad: algoritmos y procedimiento administrativo debido tecnológico», *Revista General de Derecho*, núm. 50.

Ramió, Carles (2019), *Inteligencia artificial y administración pública: robots y humanos compartiendo el servicio público*, Catarata.

Rizzolatti, Giacomo; Sinigaglia, Corrado (2006), *Las neuronas espejo. Los mecanismos de la empatía emocional.*, Paidós Ibérica, Barcelona.

Rodella, A. (2018), «Los robots pueden imitar, no sentir», *El País*, 28.4.2018. https://elpais.com/elpais/2018/04/26/ciencia/1524760728_658244.html

Rodríguez, Joaquín (2025), «El futuro en juego: Cambio Climático, Red Eléctrica y la Gran Carrera hacia la Inteligencia Artificial General», *en esta obra*.

Rosembuj, T. (2017), *Governing artificial intelligence*, LLR, n.º 2/2017. <http://elfisco.com/articulos/governing-artificial-intelligence-2>

Skinner, Chris (2018), *Digital Human. The fourth revolution of humanity includes everyone*, Wiley.

Tarrés Vives, Marc (2003), «Las normas técnicas en el Derecho Administrativo», *Documentación Administrativa*, núm. 265-266, págs. 151-184.

Tegmark, Max (2018), *Vida 3.0. Ser humano en la era de la inteligencia artificial*, Taurus.

ESTUDIOS

¿Cómo regular la transición energética en la era de la IA?

El mundo afronta una doble crisis: urgencia climática y seguridad humana. La descarbonización y la electrificación son ineludibles, pero generan riesgos: inestabilidad, desigualdades y vacíos regulatorios. La inteligencia artificial se ha convertido en un actor clave para optimizar redes, prever demanda y reducir emisiones, aunque también plantea desafíos éticos, geopolíticos y jurídicos.

Este libro ofrece respuestas prácticas: principios regulatorios, modelos de gobernanza y escenarios prospectivos para integrar IA en la gestión energética global. Dirigido a juristas, ingenieros, reguladores, directivos y académicos, aborda cuestiones como: ¿cómo garantizar estabilidad con renovables?, ¿cómo evitar monopolios de datos?, ¿cómo equilibrar eficiencia y derechos?, ¿cómo responder a ciberataques críticos?

Su enfoque innovador incorpora el paradigma de **seguridad humana energética**, conectando dimensiones ecológica, algorítmica y social. Más que teoría, es una hoja de ruta para construir un futuro energético justo, seguro y sostenible.

ISBN: 978-84-1085-593-9

