

Una hoja de ruta para la innovación en tiempos complejos

Coordinador **Javier García Martínez**



FUNDACIÓN
**RAFAEL
DEL PINO**



CÁTEDRA
CIENCIA Y SOCIEDAD

Resumen ejecutivo

e

Entrevistas

00.

Una hoja de ruta
para la innovación en
tiempos complejos

01.

Materiales abundantes
por materias primas
críticas

02.

Sistemas de Salud
gestionados por
inteligencia artificial

03.

Energía nuclear más
allá del uranio

04.

Nuevas tecnologías de
diagnóstico: biosensores,
wearables e implantables

05.

La 'tercera vía' de la
algoritmia cuántica

06.

La biotecnología en
alimentación como
sistema de defensa

07.

El vehículo autónomo
toma el control del
volante

08.

Inteligencia artificial
en el descubrimiento
de antibióticos

09.

Las carrera tecnológica de
la observación geoespacial

10.

Redes eléctricas
seguras e inteligentes

Introducción

Asistimos a una dinámica contradictoria en nuestros días. Los avances tecnológicos y científicos exigen cada vez más capacidad de colaboración, tanto horizontal, entre distintos sectores, disciplinas y *stakeholders*; como vertical, entre todos los componentes de la cadena de valor. Sin embargo, el entorno institucional, sobre todo a raíz de la crisis de identidad de los países occidentales, promueve la fragmentación, la polarización y el aislamiento.

En otras épocas de la historia, si las instituciones no ayudaban a escalar los avances de la innovación, el riesgo de estancamiento general se acrecienta. Sin embargo, la principal seña de identidad del Nuevo Orden al que nos dirigimos no es necesariamente esa, sino el desacoplamiento cada vez mayor, en el plano estratégico, entre el sector público y el privado.

El presente Informe INTEC 2025 pretende ser una hoja de ruta para aquellos que quieren transformar la sociedad con una visión integradora, en beneficio de los ciudadanos en esta época de confusión. El efecto transformador del nuevo ciclo de la inteligencia artificial (IA) y de los avances en nuevos materiales, asistencia en salud, tecnologías geoespaciales o redes eléctricas inteligentes, asuntos todos ellos presentes en este trabajo, sólo puede producirse si se actúa con visión de ecosistema, integrando a todos los actores de la cadena de valor.

El despliegue de la IA eleva esa la tarea de cohesionar la sociedad a través del empleo a una nueva dimensión. Una de las primeras preguntas que ha

suscitado el nuevo ciclo de las tecnologías generativas es precisamente cómo determinar las ventajas de ser una persona frente a una máquina. Cada industria, banco, empresa de construcción, institución, hospital, universidad, ONG, cadena de retail y hasta servicio de transporte va a tener que decidir qué labores asigna a las personas y cuáles a los sistemas artificiales, y debe hacerlo con una urgencia nunca antes vista.

A medida que se emplea la tecnología, habrá que promover también un nuevo sentido de confianza y transparencia, porque la IA va a interactuar en nuestro nombre, pero de forma independiente de nosotros.

La capacidad de colaboración marcará la frontera entre los ganadores y los perdedores en este nuevo contexto. Será clave contar con ecosistemas seguros que garanticen la integridad y el valor de la información, cadenas de suministro autónomas que procesen miles de millones de predicciones al día, adaptativas, en las que resulte complicado distinguir entre la actividad *online* y la física, en las que las partes estén interconectadas, sin fricción. Esto implica reimaginar el sistema completo, algo nunca hecho antes a esta escala.

El informe INTEC 2025 aborda en profundidad el potencial de desarrollo de 10 ámbitos tecnológicos clave, en los que España puede posicionarse con voz propia todavía, porque se encuentran en un punto emergente y las barreras de entrada no son todavía excluyentes.

Materiales abundantes por materias primas críticas

El 80% de la industria actual se compone principalmente de cinco materiales: acero, carbón, oro, cobre y aluminio; sin embargo, la producción de intermedios químicos básicos, como amoníaco, metanol, etileno, propileno, butadieno, benceno, tolueno, xileno, afecta directamente a casi todos los aspectos de la economía mundial. Por lo tanto, a menos que el sistema químico haga la transición hacia un modelo de operación sostenible, será difícil que los otros sectores que utilizan sus productos lo logren verdaderamente.

Los metales críticos podrían experimentar elevados aumentos de precio hasta 2035, en particular, el paladio, el iridio y el níquel subirán un 165%, un 140% y un 107%, respectivamente, y otros materiales, en un escenario de tasa de inflación anual media del 2% durante la próxima década, podrían ver cómo su precio se dispara un 24%.

En ese camino hacia la sostenibilidad económica y medioambiental, uno de los grandes desafíos del sector químico mundial en materia de innovación consistirá en encontrar alternativas nuevas a las denominadas materias primas críticas.

Solo el 7,3% de la demanda anual en la UE se satisface mediante reciclaje de residuos, de hecho, la mayoría de las materias primas críticas tienen un EOL-RIR (tasa de entrada de reciclaje al final de la vida útil) inferior al 5%. Mientras ese porcentaje no aumente y no se encuentren alternativas, la dependencia no dejará de aumentar. La UE podría cubrir entre más de la mitad y tres cuartas partes de sus necesidades de metales para tecnologías limpias en 2050 mediante el reciclaje local.

Un enfoque interesante aboga por diseñar productos que requieran un uso más eficiente de los materiales, por ejemplo, reduciendo la carga de metales preciosos empleados en los catalizadores.

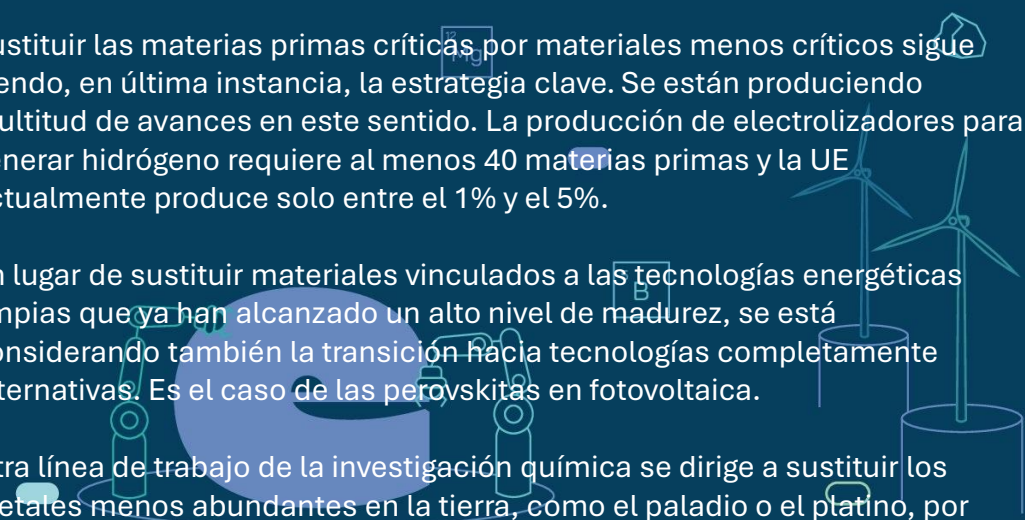
Junto a los esfuerzos en mejorar el diseño de los productos, para hacer un uso más óptimo de los materiales, las técnicas de fabricación avanzadas, como la impresión 3D, ofrecen una vía complementaria interesante, ya que permiten un uso más preciso de los materiales, con un menor coste energético.

La inteligencia artificial (IA) está permitiendo dar un salto fundamental en la búsqueda de nuevos materiales. Empresas tecnológicas estadounidenses unieron a varios laboratorios federales de investigación para utilizar IA y desarrollar un nuevo material que podría reducir el contenido de litio en las baterías en un 70%.

Sustituir las materias primas críticas por materiales menos críticos sigue siendo, en última instancia, la estrategia clave. Se están produciendo multitud de avances en este sentido. La producción de electrolizadores para generar hidrógeno requiere al menos 40 materias primas y la UE actualmente produce solo entre el 1% y el 5%.

En lugar de sustituir materiales vinculados a las tecnologías energéticas limpias que ya han alcanzado un alto nivel de madurez, se está considerando también la transición hacia tecnologías completamente alternativas. Es el caso de las perovskitas en fotovoltaica.

Otra línea de trabajo de la investigación química se dirige a sustituir los metales menos abundantes en la tierra, como el paladio o el platino, por otros más habituales como el cobalto o el manganeso.



Sistemas de Salud gestionados por inteligencia artificial

Con 4.500 millones de personas sin acceso a servicios de salud esenciales, la inteligencia artificial (IA) podría ayudar a cerrar la brecha, pero la atención médica está por debajo de la media en adopción de IA en comparación con otros sectores

Las redes orgánicas y sociales, desde los sistemas inmunitarios humanos hasta la movilidad poblacional, son por definición adaptativos, y cualquier perturbación afecta a la precisión de las predicciones. Se necesitarán nuevos tipos de IA y nuevos enfoques que superen a las visiones compartimentadas.

Las estrategias de IA en salud deben articularse, asimismo, asumiendo que los hospitales y los sistemas sanitarios se enfrentan a una ola creciente de ciberataques impulsados por el alto valor económico de los datos de los pacientes, incluidos los historiales clínicos electrónicos (HCE). El sector sanitario se ha convertido, de hecho, en el más atacado de la UE en los últimos cuatro años, incluso durante la pandemia de COVID-19.

Hay que promover la "inteligencia aumentada": la finalidad de la IA debe ser asistir y no sustituir a los profesionales sanitarios, que siguen siendo necesarios para proporcionar contexto clínico a los algoritmos y para traducir sus hallazgos en decisiones en beneficio de para los pacientes.

La gobernanza de la IA constituye, de hecho, un concepto relativamente nuevo para los sistemas de salud. Implica revisar y evaluar las herramientas individuales de IA para garantizar que se puedan utilizar de forma segura y eficaz, y que cumple la legislación aplicable.

Los sistemas de IA inevitablemente absorben y perpetúan la infrarrepresentación de ciertos grupos o los sesgos de género en el tratamiento de los datos con los que se alimentan. Si no se adoptan las precauciones oportunas, los algoritmos pueden predecir menores riesgos para la salud en poblaciones que históricamente han tenido menos acceso a los servicios de salud; no porque sean más saludables, sino porque hay menos uso documentado de la atención médica.

La IA puede automatizar tareas para liberar tiempo y permitir que los médicos se centren más en sus pacientes, "humanizando" la atención de nuevas maneras. El síndrome de burnout en profesionales sanitarios ha aumentado.

Se estima que los equipos de atención primaria pueden utilizar soluciones de voz basadas en IA para documentar automáticamente las conversaciones con sus pacientes en, al menos, el 60% de las visitas. Esto puede permitir a los médicos atender hasta nueve pacientes adicionales al mes.

El 70% de las tareas del personal sanitario podrían reinventarse, de hecho, mediante la mejora tecnológica. Solo en enfermería, la automatización puede liberar el 20% de las tareas repetitivas y de menor complejidad.

Desde un punto de vista más sistémico, el concepto de gemelo digital para la salud (DT4H) promete revolucionar todo el modelo sanitario, incluyendo la gestión y la prestación de servicios, el tratamiento y la prevención de enfermedades, y el mantenimiento del bienestar.

Energía nuclear más allá del uranio

La comunidad energética internacional se sobresaltó en la primavera de 2025 cuando científicos chinos anunciaron que habían conseguido agregar con éxito combustible nuevo a un reactor de sal fundida de torio, todo un hito tecnológico.

China no es la única que pretende aprovechar las propiedades únicas del torio. Anteriormente, India, Japón, el Reino Unido, Estados Unidos y otros países han mostrado entusiasmo por su posible aplicación en la energía nuclear. El torio presenta varias ventajas sobre el combustible nuclear convencional, el uranio-235.

El torio es un subproducto principalmente de la monacita, y su extracción requiere métodos más costosos que los del uranio, al menos mientras la demanda de torio y su aplicación en la energía nuclear no contribuyan a encontrar la forma de abaratarlos. Su separación requiere grandes cantidades de ácido y energía y podría generar cientos de toneladas de aguas residuales por cada gramo de torio purificado.

El combustible de torio-uranio es caro, hasta el punto de que el equilibrio con el uranio solo se alcanzaría si el precio de este último se duplicara. No obstante, los ingresos generados por las ventas de electricidad, combinados con el coste de recarga de combustible durante el tiempo de inactividad del reactor, muestran que puede ser ventajoso: un ahorro del 14,8% si se compara en períodos de tiempo equivalentes.

Algunos de estos problemas se solucionan con los reactores de sales fundidas, en los que se espera que el ciclo del combustible en equilibrio presente una radiotoxicidad relativamente baja.

Amazon, Meta, Google y DOW aparecen entre los firmantes del llamado “Compromiso de los Grandes Usuarios de Energía” que apoya el objetivo de al menos triplicar la capacidad nuclear mundial en 2050.

El *Libro Rojo*, una publicación conjunta del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Agencia de Energía Nuclear (AEN) de la OCDE, coincide en que la producción mundial de energía nuclear podría aumentar en más del 50% hasta 2040.

Los países con los parques de reactores más grandes están alargando la vida de las centrales existentes hasta los 60 años, e incluso hasta los 80 años en el caso de EEUU, pero más de 140 reactores alcanzarán ese límite en 2040. Los pequeños reactores modulares y microrreactores, podrían contribuir hasta con el 10% de la capacidad total en el más favorable de los escenarios, pero no constituyen una alternativa clara.

Cualquier opción de ciclo de combustible que se considere requerirá plazos relativamente largos para su implementación: entre 15 y 20 años para diseñar, construir, obtener los permisos y poner en marcha una nueva instalación de ciclo del combustible; el despliegue del primer reactor comercial podría concretarse en varios años; y la implementación completa de un ciclo del combustible podría requerir de un par de décadas a un siglo para la transición de una flota que utiliza un solo ciclo del combustible.

La condición de pionera de España en el ámbito de la energía nuclear, que le otorga el impulso a las centrales hace 50 años, ha consolidado un tejido industrial con enormes capacidades científico-tecnológicas.

Nuevas tecnologías de diagnóstico: biosensores, wearables e implantables

Las interacciones entre todos los sistemas fisiológicos, en particular entre el sistema neuroendocrino y el hipotálamo, controlan variables fisiológicas como el crecimiento y el desarrollo, las vitaminas, la termorregulación, el equilibrio energético, la oxigenación, la desintoxicación, el equilibrio ácido-base y la osmorregulación. Los biosensores para el diagnóstico de enfermedades buscan detectar y monitorizar los cambios en estos factores, pero todavía deben superar diferentes desafíos.

La mayoría de los sistemas de monitorización de las constantes vitales existentes en todo el mundo solo proporcionan información global y no consiguen monitorizar tejidos profundos ni trabajar en tiempo real. Asimismo, no es fácil obtener una cantidad suficiente de objetivos de prueba y la contaminación del entorno puede afectar los resultados, de modo que resulta imprescindible estudiar las correlaciones entre las pruebas y los objetivos de detección buscados.

Si se identifica la predisposición genética de un paciente a un estado de salud particular y se combina con datos en tiempo real de biosensores portátiles, los sistemas de salud pueden predecir, prevenir o controlar enfermedades con una precisión sin precedentes. Se habla, en ese sentido, de una Salud 5.0 que incorpora el control y la detección y se refuerza con la atención virtual y la gestión sanitaria inteligente. Lo que hoy se conoce como computación ubicua (*pervasive computing*) podría elevar la aplicación y el rendimiento de los biosensores, en un contexto de atención médica personalizada.

Su papel puede resultar clave en el seguimiento y tratamiento de enfermedades con impacto crítico en el bienestar de la población. Alrededor de 1,5 millones de personas mueren cada año directamente a causa de la diabetes, la mitad de ellas antes de cumplir los 70 años. La enfermedad renal crónica (ERC) se ha identificado como una enfermedad epidémica mundial en las últimas tres décadas. Alcanza a más de 800 millones de personas, aproximadamente al 10% de la población mundial, y en 2040 podría haber pasado de ser la decimosexta causa principal de muerte a la quinta.

Las enfermedades cardiovasculares, siguen siendo la principal causa de mortalidad a nivel mundial, en el 85% de las ocasiones por accidentes cerebrovasculares y ataques cardíacos, y la hipertensión afecta aproximadamente al 30%-45% de la población adulta mundial, según la OMS.

El camino para el desarrollo de estas nuevas soluciones resulta, no obstante, complejo y está repleto de dificultades, más allá del ya de por sí intrincado proceso de innovación, que implica múltiples etapas, como la investigación, la creación de prototipos, las pruebas y la validación. Uno de los problemas de partida es que los sensores implantables no se suelen utilizar en la práctica clínica de forma generalizada, principalmente debido a su disponibilidad limitada. Esta circunstancia se traslada inevitablemente al coste, que puede hacerlos inasequibles para muchos pacientes y sistemas de salud.

La ausencia de materiales útiles limita también la creación de dispositivos de alto rendimiento para biosensores biodegradables implantables. Los componentes y el formato de los biosensores tradicionales son incompatibles con los biodegradables implantables. Aquellos son pesados y voluminosos, éstos deben ser pequeños y ligeros para una integración perfecta en el cuerpo.

La 'tercera vía' de la algoritmia cuántica

Si bien el hardware cuántico es el que suele acaparar más titulares en los medios de comunicación, es el software cuántico el que ha avanzado notablemente en tan solo unos años. El volumen de información susceptible de ser procesada aumenta a ritmo exponencial y la presión para que la forma de operar en todos los ámbitos, públicos y privados, sea sostenible desde todos los puntos de vista, incluidos el medioambiental y el social, es cada vez mayor. El reciente Pacto Climático de Glasgow podría considerarse una fuente de infinidad de problemas de optimización para la informática.

Se prevé una adopción temprana de los algoritmos cuánticos y de inspiración cuántica en el sector financiero y farmacéutico durante los tres a cinco años próximos, orientados a la optimización de carteras, el modelado de riesgos y el descubrimiento de fármacos. Seguirán la industria aeroespacial, de defensa y de energía (5-10 años), que se beneficiará de las simulaciones cuánticas para la ciencia de los materiales, la eficiencia del combustible y la fusión nuclear.

Pocas instituciones europeas se sitúan entre los principales centros de investigación cuántica del mundo. En el caso de las universidades, destacan los centros de Copenhague, París, Múnich y Delft, pero siguen lejos de instituciones estadounidenses como Caltech, MIT y Harvard, y de universidades de países no pertenecientes a la UE, como el Reino Unido y Suiza. También la financiación pública y privada en la UE está por detrás de la de Estados Unidos y China.

La fragmentación se reproduce en el sector privado: en lugar de grandes corporaciones, la UE cuenta fundamentalmente con empresas emergentes y algunas compañías en expansión. El software basado en algoritmos de inspiración cuántica reclama más atención en todo este despliegue de esfuerzos nacionales y europeos. El reto es encontrar aplicaciones concretas en sectores productivos que puedan mejorar la eficiencia de las empresas y abrir la puerta a nuevos modelos de negocio.

Las posibilidades de convergencia tecnológica con el nuevo ciclo de la inteligencia artificial (IA) son amplísimas. Investigadores de la española Multiverse Computing y CounterCraft han desarrollado un nuevo modelo de IA cuántica, entrenado con conjuntos de datos de tráfico de red real y registros del sistema, que identifica el 100% de los ciberataques.

En el ámbito de la medicina personalizada, el aprendizaje automático basado en la computación cuántica supone una auténtica revolución para la toma de decisiones sofisticada en tiempo real. Los científicos pueden crear datos genéticos sintéticos muy similares a los del mundo real que podrían alimentar algoritmos cuánticos para desarrollar modelos moleculares más precisos, acelerando así todo el proceso de descubrimiento de fármacos.

Las ciudades sostenibles también tienen mucho que ganar con la combinación de la computación cuántica y la IA. Los urbanistas podrían crear datos sintéticos de tráfico que simulen los patrones de tráfico del mundo real para entrenar algoritmos cuánticos que mejoren la gestión de la congestión y optimicen rutas.

Para desplegar todo su potencial en el sector privado, como en otros ámbitos, habrá que resolver el problema de la disponibilidad de talento. El 60% de los líderes tecnológicos consultados por IBM citó la falta de profesionales cualificados como el principal obstáculo.

La biotecnología en alimentación como sistema de defensa

Las crisis recientes, el incremento de la incertidumbre en las cadenas de suministro y los episodios extremos asociados al cambio climático han demostrado que la garantía de alimentos se ha convertido en una cuestión geoestratégica clave. Se desperdicia hasta el 30% de la producción mundial de los principales cultivos básicos: trigo, arroz, maíz, papa y soja, y hasta el 70% de las pérdidas de rendimiento en los principales cultivos se deben a condiciones ambientales adversas. La dependencia de los productos de terceros países sigue siendo un factor condicionante de primer nivel.

Los productos de la nueva bioeconomía emergen como una alternativa fundamental en la carrera para garantizar la seguridad del suministro. La ingeniería de plantas, células de mamíferos y microorganismos abre la puerta a nuevos alimentos e ingredientes producidos de forma sostenible, respetuosa con el medio ambiente y sin animales. Junto a ellas, tecnologías cada vez más maduras, como la edición genómica y la producción de alimentos basada en microbios ocupan un puesto destacado ya en la exploración de sustitutos de la carne y los lácteos.

Con más opciones alimenticias se reducirá el riesgo de conflictos futuros relacionados con los alimentos y se abrirá la vía para impulsar la producción local, ya sea en puntos desplegados sobre el terreno allí donde se precise, ya sea en el mar e incluso en el espacio. La ubicación de las instalaciones de producción será adaptable y no dependerá de factores ambientales, con un enfoque de "diseñar en cualquier lugar, crecer en cualquier lugar".

Las proteínas alternativas, como las asociadas a la soja, los guisantes o las legumbres, ofrecen soluciones sostenibles a la creciente demanda y

permiten un uso más eficiente de los recursos terrestres y hídricos. Asimismo, la fabricación distribuida basada en biología sintética podrá aprovecharse para obtener productos que no requieren producción industrial, como el propano, la electricidad, el tratamiento de agua o la gestión de residuos.

La bioindustria de la UE se enfrenta a retos como los prolongados plazos de I+D necesarios para desarrollar el producto y el modelo de producción, los bajos márgenes de beneficio iniciales y la necesidad de escalar el volumen de producción rápidamente en medio de enormes barreras para ampliar la capacidad de fabricación.

Los enfoques de la biotecnología celular incluyen la biología sintética y la fermentación de precisión. En lo que se refiere a este último campo, las levaduras son uno de los espacios de innovación más dinámicos, impulsadas por los avances en ingeniería metabólica que han simplificado la transferencia desde la fuente natural a un huésped de producción.

A partir de 2030, muchos productos podrían concebirse como sistemas con células diseñadas para trabajar juntas e integrarse en materiales no vivos o electrónica. La hamburguesa del futuro podría cultivarse utilizando consorcios de bacterias, hongos y células de ganado, similares al yogur o al queso, que trabajen juntas para construir estructuras táctiles y sintetizar moléculas que cumplan las funciones de nutrición, sabor y fragancia.

Las tecnologías de IA han venido para dar una nueva escala a todo el proceso. Crean modelos predictivos para analizar el comportamiento y las interacciones de sistemas complejos, con la ventaja de que los algoritmos de aprendizaje automático (ML) pueden evaluar cada vez más las incertidumbres de sus predicciones y mejorar de ese modo el diseño de los experimentos.

El vehículo autónomo toma el control del volante

Los robotaxis ya han demostrado su viabilidad tecnológica y se están implementando a gran escala en ciudades de Estados Unidos y China. Ambos países suman más de 30 urbes con pruebas, más que el resto del mundo unido.

Hoy en día, en la UE, sigue siendo necesario, no obstante, armonizar las pruebas y las políticas de vehículos autónomos para que no se detengan en las fronteras de los países. De hecho, la actual disparidad de normativas y los diferentes niveles de progreso plantean desafíos que exigen una armonización a nivel de toda la UE.

El pronóstico de Goldman Sachs Research indica una tasa de crecimiento anual compuesta del sector de alrededor del 90% entre 2025 y 2030. Delaney estima que los márgenes brutos para un operador de vehículos autónomos podrían alcanzar el 40-50% en los próximos tres a cinco años.

Las alianzas estratégicas entre las startups y las empresas de viajes compartidos, los gigantes del sector TIC, los grandes fabricantes y los principales usuarios, como los transportistas, serán cruciales para el desarrollo de vehículos autónomos. Es poco probable que los fabricantes de automóviles, en general, participen en un desarrollo integral del nuevo sector, ya que esto agotaría los recursos que necesitan con urgencia para la transición a sistemas de propulsión eléctricos.

El transporte de mercancías se presenta como el ámbito más prometedor para la automatización. Las ventas de camiones autónomos podrían

representar hasta el 30% de las ventas totales de camiones nuevos en EEUU en 2035. Este país está mejor posicionado para liderar su adopción, especialmente en las rutas de larga y media distancia, debido a sus ventajas en coste total de propiedad (TCO) y a la apremiante necesidad de abordar la escasez de conductores.

El desarrollo de las lanzaderas robóticas y los autobuses autónomos, que también ofrecía perspectivas muy alentadoras, se ha acabado atascando. Las primeras asomaron en su momento como la solución ideal para el transporte de última milla y más de 25 empresas llegaron a disputarse la primacía en el sector. Sin embargo, la financiación insuficiente está impidiendo a muchas compañías avanzar más allá de las pruebas a pequeña escala.

A favor de la expansión de los vehículos autónomos juegan los buenos datos en cuanto a siniestralidad, que se cobra 1,2 millones de vidas en las carreteras. Se estima que cuando la tasa de penetración de mercado de los vehículos sea del 10%, estos pueden reducir los riesgos de accidentes y lesiones de vehículos en un 50%; cuando la tasa de penetración se mejora al 50%, los riesgos se pueden reducir en un 90%.

En cuanto a las tecnologías de reconocimiento del entorno, el radar está prácticamente ya a la par del LiDAR gracias a la mayor apertura del modelo más reciente, que también cuenta con ecolocalización y aplica el principio de medición del tiempo de vuelo, como hace el LiDAR. Con esto, crea imágenes de nube de puntos del entorno del vehículo.

Sin embargo, más allá de los riesgos físicos hay otro tipo de amenazas en el ámbito cibernético que pueden condicionar también la expansión de los vehículos autónomos.

Inteligencia artificial en el descubrimiento de antibióticos

Los avances recientes en la predicción de la estructura de las proteínas y la generación de moléculas impulsada por el aprendizaje automático ofrecen razones convincentes para revisar el diseño racional de fármacos.

Las nuevas posibilidades de la IA intentan sacudir, no obstante, un entorno que avanza con una inercia muy rígida y difícil de redireccionar. Farmacéuticas e inversores privados operan muy lejos del desarrollo de nuevos antibióticos y la innovación se ha frenado durante las últimas cuatro décadas. Desde la década de 1980, no se comercializa ninguna nueva familia de antibióticos, pese a que los compuestos disponibles no dejan de perder eficacia debido a las bacterias resistentes a los antimicrobianos (RAM).

A mediados de 2025, solo 32 fármacos antimicrobianos se encontraban en desarrollo clínico, y de ellos, solo 12 podían considerarse innovadores según la OMS. El destino para la mayoría de ellos será el fracaso en las pruebas clínicas y la ausencia de aprobación regulatoria.

La inversión privada es escasa para el desarrollo de antimicrobianos por la disfuncionalidad del propio mercado, que hace que las empresas que han conseguido permisos para nuevos compuestos los últimos años se hayan tenido que declarar en quiebra casi a continuación. De hecho, las pequeñas empresas son responsables del 80% de las nuevas terapias con antibióticos propuestas, mientras que el 8% surge en institutos y universidades sin fines de lucro, y sólo el 12% se origina en grandes empresas.

Cada formulación necesita de media alrededor de 1.000 millones de dólares en desarrollo y recuperar esa inversión es extremadamente difícil para un tipo de medicamentos que, a diferencia de los que tratan las enfermedades crónicas de por vida, se usan durante un espacio corto de tiempo, el que dura la infección. En consecuencia, podría suceder que la IA genere una gran cantidad de candidatos terapéuticos prometedores, pero no haya financiación necesaria para que completen las pruebas clínicas y lleguen a los pacientes.

Se proyecta que la resistencia a los antimicrobianos provocará hasta 1,91 millones de muertes atribuibles y 8,22 millones de muertes asociadas en 2050. Sin más intervenciones, será poco probable lograr la reducción propuesta por la OMS del 10% en la mortalidad por RAM en 2030 y atender a los requerimientos del Parlamento Europeo, que en 2023 reconoció la RAM como una de las tres principales amenazas prioritarias para la salud en la UE.

Por el lado de la tecnología, la calidad de los datos, la interpretabilidad de los modelos y la implementación en el mundo real de los resultados que se obtienen de la computación siguen siendo los grandes desafíos pendientes. Y no se trata estrictamente de una cuestión de cantidad: los conjuntos de datos grandes pueden ayudar a entrenar un modelado avanzado, pero los conjuntos de datos más pequeños, bien anotados y precisos pueden ofrecer información más valiosa al evitar el ruido excesivo. Es necesaria la colaboración internacional para compartir información y conocimiento entre instituciones.

Como vía para facilitar una visión estratégica e integradora, algunos expertos abogan por un enfoque multidisciplinar que integre la IA con otras tecnologías emergentes, como la biología sintética y la nanomedicina para preservar la eficacia de los antibióticos en el futuro.

La carrera tecnológica de la observación geoespacial

Los datos EO (observación de la Tierra) representan alrededor del 86% de los generados en el segmento de las aplicaciones espaciales. Se prevé que en 2032 la observación satelital genere más de dos exabytes (2.000 millones de gigabytes) de datos acumulados, aunque su volumen y complejidad han dificultado históricamente su aplicación en soluciones viables.

Inicialmente la EO ha estado impulsada por las contribuciones del sector público, especialmente las motivadas por intereses de defensa y seguridad, pero se ha consolidado una industria comercial con una fuerte tendencia de crecimiento.

La observación de la Tierra puede ser una herramienta valiosa para mejorar el rendimiento empresarial, al permitir la toma de decisiones basadas en datos que ayudan a minimizar el riesgo o a impulsar la eficiencia operativa en un entorno natural repleto de incertidumbres, debido al cambio climático, que podría someterse a enormes cambios.

La tecnología puede contribuir también a la mejora de la transparencia y al intercambio de información de organizaciones, gobiernos e instituciones, en los procesos de rendición de cuentas. Más del 50% de las variables climáticas esenciales solo pueden medirse a escala desde el espacio, lo que convierte a la EO en un factor clave para el cumplimiento de las exigencias ESG (medio ambiente, social y gobierno corporativo) en organizaciones multinacionales cuyas actividades abarcan múltiples geografías.

La observación de la Tierra (EO) puede mejorar significativamente la gestión logística proporcionando datos sobre rutas de transporte, patrones climáticos y disponibilidad de recursos.

Los datos de EO también pueden utilizarse para impulsar el crecimiento de los ingresos de algunas empresas que los producen y no los habían explotado hasta ahora. Surgen nuevos modelos de negocio, por ejemplo, en el sector de las aerolíneas, al integrarlos en productos y servicios para crear ofertas nuevas e innovadoras.

Se ha demostrado que los insumos de fertilizantes pueden reducirse entre un 4% y un 6% en general cuando se utilizan estos datos en la agricultura de precisión. En el ámbito de la energía, permiten evaluar el potencial energético de los nuevos emplazamientos solares, eólicos e hidroeléctricos, así como vulnerabilidades en infraestructuras a gran escala, como tuberías y redes eléctricas.

Pese a todo este mar de oportunidades que se abre para las empresas, hoy en día, el gas-to público representa casi tres cuartas partes del mercado de datos y servicios de EO, mientras un buen porcentaje de la demanda comercial permanece "latente".

Las tecnologías geoespaciales se han aplicado ampliamente para abordar, por ejemplo, los desafíos urbanos y ambientales en las ciudades, dado que proporcionan varios niveles de detalle, temporales y espaciales.

A mediados de 2025, ninguno de los principales modelos de IA, como ChatGPT, Llama o Claude, había anunciado el uso de datos de la Tierra en su entrenamiento ni era capaz de comprenderlos. Los modelos emergentes de visión basados en transformers para datos geoespaciales, también llamados modelos de base geoespacial (GeoFM), pueden introducir una nueva y poderosa alternativa para paliar esta brecha.

Redes eléctricas seguras e inteligentes

La transición hacia un mundo con cero emisiones netas debe estar respaldada por redes eléctricas más extensas, robustas e inteligentes, ya que el consumo mundial de electricidad debe crecer un 20% más rápido en la próxima década que en la anterior.

Según la Agencia Internacional de la Energía, eso implicará añadir o renovar más de 80 millones de kilómetros de redes hasta 2040, el equivalente a toda la infraestructura mundial existente, y duplicar el ritmo de inversión en redes eléctricas, que debería superar los 600.000 millones de dólares anuales, con énfasis en la digitalización y modernización de las redes de distribución.

La energía eólica y la solar fotovoltaica deben protagonizar más del 80% del aumento total de la capacidad energética en las próximas dos décadas, en comparación con menos del 40% en las últimas dos. Para ello, será preciso duplicar asimismo la flexibilidad del sistema hasta 2030 para que esto no afecte a la estabilidad del suministro.

El ritmo de implementación de las nuevas inversiones y de penetración de las tecnologías verdes está siendo inferior, no obstante, al que plantean todas estas proyecciones. La realidad actual del mercado dista mucho de esos objetivos.

Las tecnologías dirigidas a mejorar la red no siempre están incluidas en el proceso de planificación energética de las autoridades reguladoras nacionales, a pesar de que su integración en el sistema puede aumentar potencialmente la capacidad total de la red entre un 20% y un 40%. Sin mejoras, el riesgo de interrupciones del servicio se eleva, y cuestan ya alrededor de 100.000 millones de dólares al año.

Las nuevas infraestructuras suelen tardar entre cinco y 15 años en ejecutarse debido a los problemas en la obtención de permisos, que suelen involucrar a múltiples autoridades y jurisdicciones a lo largo de toda la ruta. Es cinco veces más tiempo que los nuevos proyectos de energías renovables y hasta siete veces más que las nuevas infraestructuras de carga de vehículos eléctricos.

La fragmentación de actores es otro de los condicionantes fundamentales para la modernización de la red eléctrica europea. Algo más de dos tercios de las nuevas inversiones deben realizarse en la red de distribución, donde los operadores deben proporcionar los equipos, incluidos los medidores inteligentes y los sistemas de almacenamiento local. En la UE existen 30 operadores de sistemas de transmisión (OST), porque Alemania tiene cuatro y Austria dos, pero miles de operadores de sistemas de distribución (OSD).

La interconectividad es clave para garantizar la seguridad y la fiabilidad energéticas: la integración de los mercados eléctricos europeos podría reportar un beneficio estimado de hasta 34.000 millones de euros anuales a los ciudadanos.

El ritmo lento en la digitalización de las redes de distribución está limitando ya, de hecho, la disponibilidad de datos en tiempo real, y eso ralentiza todo el proceso de modernización, ya que esos datos en tiempo real son los que consiguen precisamente que el gasto en la mejora de la infraestructura de red existente se reduzca.

En la UE, quince países, uno de ellos España, tienen una tasa de implantación de contadores inteligentes superior al 80%, pero Alemania, con algo más de 50 millones de puntos, muestra uno de los ratios de adopción más bajos, con menos del 10%.

