

bit

2025 | Editan COIT y AEIT | nº 236 | 6€



Entrevista
Natalia Chueca.
Alcaldesa
de Zaragoza

Reportaje
El Realverso
puede mejorar la
vida de las personas

Tecnologías cuánticas

Una carrera hacia el futuro

PERSONAS CONECTANDO PERSONAS



Con más de 130.000 nodos de comunicación a través de los cuales pasan las señales de telefonía móvil, de TV y radio, redes de seguridad y emergencia, dispositivos conectados y aplicaciones para "smart cities", que dan cobertura a más de 250 millones de personas en Europa, Cellnex apuesta por la gestión inteligente de infraestructuras, servicios y redes de telecomunicaciones.

Personas cuyo objetivo es facilitar la conectividad de las personas estén donde estén. En Cellnex impulsamos la conectividad de las telecomunicaciones.



COIT

Almagro, 2 - 1º Izda.
28010 - Madrid
Tel. 91 391 10 66
www.coit.es

Director

Juan Carlos López

Comité de redacción

Marta Balenciaga
Francisco Javier Gabiola
Juan Carlos López
José Fernando García
Alexia Rodríguez
José Casado
José Miguel Roca
Teresa Pascual
Félix Pérez
Luis García
Natalia Molinero

Fotografía

Chus Blázquez/ICS

Edición y diseño

ICS COMUNICACIÓN

Coordinación

Carlos Martí

Edición

Anna Boluda

Diseño y maquetación

David G. Rincón

Publicidad

publicidad@coit.es

Suscripciones

bit@coit.es

Depósito Legal

M-23.295-1978

Imprime

Grupo MYC

Más allá del *hype*: un futuro cuántico

En los dos últimos años, la Inteligencia Artificial (IA) se ha adueñado de casi cualquier conversación, evento o conferencia de carácter científico o tecnológico que se produzca. No hay artículo, post, reflexión o aportación en cualquier disciplina que no utilice la IA o intente enseñarnos que, no pudiendo vivir sin ella, debemos aprender a manejarla. Pero a pesar de esa constante en nuestras vidas, **las tecnologías cuánticas** se abren paso como la futura revolución tecnológica que ‘amenaza’ con abrir innumerables caminos inexplorados o sencillamente inimaginados.

Más allá del *hype* que rodea cualquier nueva tecnología que se sospeche pueda cambiar de forma decisiva nuestras vidas, lo cierto es que la tecnología cuántica puede presumir de estar recibiendo una atención especial quizás antes de lo debido/esperado, precisamente porque se adivina su enorme potencial. Nadie quiere quedarse atrás en esa carrera hacia este ‘próximo’ futuro.

Y así, el pasado mes de abril se presentó la ‘Estrategia de Tecnologías Cuánticas de España 2025-2030’, un plan que dedica 800 millones de euros a propiciar el **desarrollo de un ecosistema cuántico** para que nuestro país sea uno de los líderes en este ámbito tecnológico. Un esfuerzo importante, que será complementado con otros programas e iniciativas públicas y privadas, pero, desgraciadamente, muy alejado de los que están realizando otros países con el mismo objetivo, especialmente EE. UU. y China.

Así, este número de nuestra revista **dedica su Especial a las Tecnologías Cuánticas** a través de la mirada de **cinco relevantes expertos** que están trabajando en el estado del arte de estas tecnologías. En sus artículos reflexionan sobre diversos ámbitos en los que estas tecnologías aventajarán y sustituirán a las tecnologías digitales clásicas: **sensores, comunicaciones, computación, criptografía** y un **campo de aplicación** de especial relevancia **como es el de la defensa y el espacio**, nos ayudarán a comprender lo cerca que puede estar ese futuro.

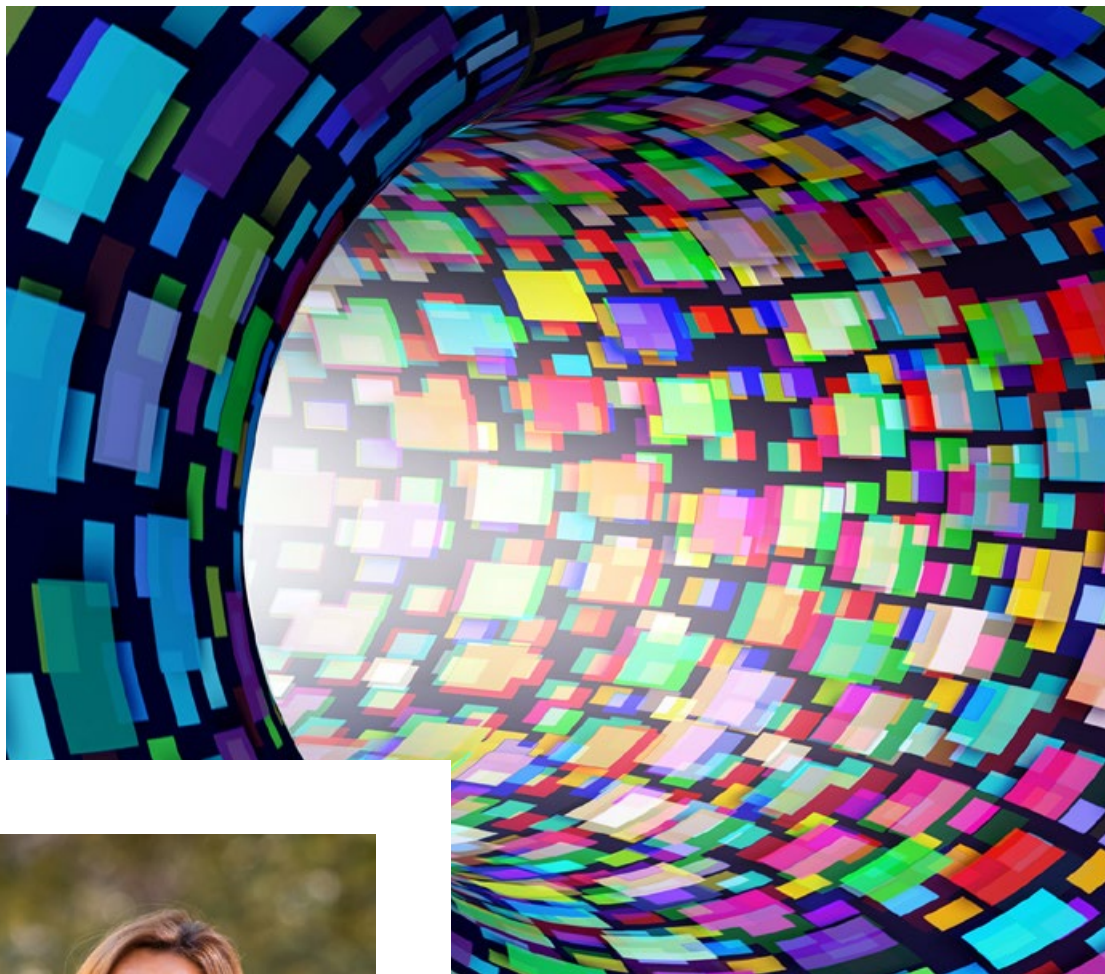
También en estas páginas realizamos una entrevista a **Natalia Chueca, alcaldesa de Zaragoza**, ciudad donde el COIT celebrará los días 24 y 25 del próximo mes de septiembre su **V Congreso Nacional de Telecomunicaciones**, cuyo enfoque será ‘Ciudades de futuro: eficiencia tecnológica’. Como siempre, completamos la revista con artículos que **abordan diversas áreas**, como los sistemas tecnológicos para la vigilancia marítima; los indicadores para medir cuán inteligente es una ciudad; el papel de las mujeres que han trabajado y trabajan en la evolución de la IA; los sistemas de aprendizaje de las organizaciones, y el futuro del Realverso para mejorar la vida de las personas, entre otros temas.



Colegio Oficial
Ingenieros de
Telecomunicación

Asociación Española
Ingenieros de
Telecomunicación

Sumario



28

Entrevista

Natalia Chueca.
Alcaldesa de Zaragoza



38

Reportaje

¿Qué define realmente
a un edificio inteligente?



06

Especial
Tecnologías cuánticas.
Una carrera hacia
el futuro



Reportaje
Historia, logros y desafíos.
Mujeres en la Inteligencia
Artificial

Índice

03	Editorial
04	Sumario
06	Tecnologías cuánticas
06	Una carrera hacia el futuro
08	Sensores cuánticos. Límites y futuro de la ingeniería cuántica
12	Las tecnologías cuánticas y el futuro de las comunicaciones
16	Computación Cuántica: una nueva (r)evolución
20	Estado actual de la criptografía postcuántica
24	Tecnologías cuánticas aplicadas a Defensa y Espacio
28	Entrevista. Natalia Chueca. Alcaldesa de Zaragoza
34	Reportaje. Cómo demostrar que el Realverso puede mejorar la vida real de las personas
38	Reportaje. ¿Qué define realmente a un edificio inteligente?
42	Opinión. Lo que el tiempo no borra: reivindicando la experiencia senior como motor del presente. Por Lola Samblas
44	Reportaje. Historia, logros y desafíos. Mujeres en la Inteligencia Artificial
48	Reportaje. Ciudad Innovadora, ¿qué es y cómo se puede medir?
52	Opinión. Las telecomunicaciones y el 'apagón eléctrico'. Por José Luis Adanero
54	Reportaje. La visión de los alumnos de la Universidad de Zaragoza: la Inteligencia Artificial en los estudios de Teleco
58	Reportaje. La organización que aprende
62	Opinión. Ocurrencia. Por Javier Domínguez
64	Reportaje. Sistema Integrado de Vigilancia Exterior, SIVE. La red invisible que vela por el mar español
68	Opinión. Previsible, ¿Inevitable? Por Teresa Pascual Ogueta
70	Experiencias profesionales. Patricia Heredia Gil
72	Escucha activa COIT
76	Lecturas que suman. Computación cuántica
78	Territoriales
80	Out of Office
82	Imprescindibles

**FÉLIX PÉREZ MARTÍNEZ.**

Profesor emérito de la ETSIT-UPM. Presidente de la Fundación Círculo de Tecnologías para la Defensa y la Seguridad.

Tecnologías cuánticas

Una carrera hacia el futuro

El pasado 24 de abril, los ministros de Transformación Digital y de la Función Pública y Ciencia, Innovación y Universidades, Óscar López y Diana Morant, presentaron la 'Estrategia de Tecnologías Cuánticas de España 2025-2030', un plan que dedica 800 millones de euros a propiciar el desarrollo de un ecosistema cuántico para que nuestro país sea uno de los líderes en este ámbito tecnológico. Un esfuerzo importante, que será complementado con otros programas e iniciativas públicas y privadas, pero muy alejado de los que están realizando otros países con el mismo objetivo, especialmente EE. UU. y China.

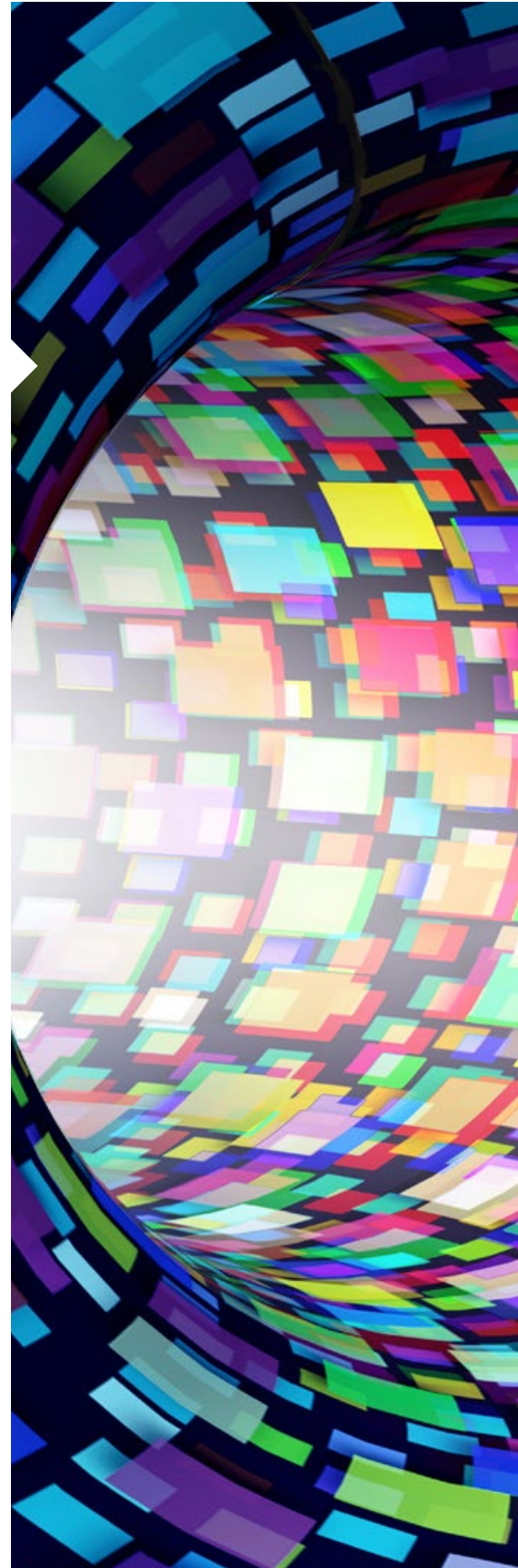
No es casualidad que 2025 haya sido declarado por la ONU como 'Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuántica'. La segunda revolución cuántica está en marcha y promete un cambio disruptivo, quizá tan importante como la IA, aunque retrasado en el tiempo.

Superposición, entrelazamiento, e interferencia de ondas entre átomos son viejos conceptos de la mecánica cuántica, difíciles de entender, que permiten generar, procesar y transmitir información complementando a las actuales tecnologías digitales y abriendo nuevas

posibilidades en ámbitos donde las actuales técnicas y tecnologías microelectrónicas tienen límites fundamentales. Como todas las tecnologías emergentes con características disruptivas es muy difícil saber cuándo estarán maduras y cuáles serán sus impactos. La experiencia demuestra que sus despliegues suelen ser bastantes más lentos que lo que creen y prometen los científicos e ingenieros que las desarrollan, pero las consecuencias de su implantación son mucho mayores de lo que se espera y en algunos casos imprevisibles.

En este especial, **cinco relevantes expertos** que están trabajando en el estado del arte de estas tecnologías, reflexionan sobre sus áreas de aplicación más prometedoras en las que incluso sustituirán a las tecnologías digitales clásicas:

- Los **sensores cuánticos** que lograrán mediciones ultra-precisas sustituyendo a los sensores tradicionales en áreas como la geofísica, la navegación, la medicina o los sistemas ISR (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) de los campos de batalla.
- Las **comunicaciones** basadas en la distribución de claves cuánticas





que permitirán una seguridad no alcanzable con la criptografía clásica y sustituirán a las actuales redes gubernamentales y a las redes públicas críticas.

- La **computación cuántica** que conseguirá resolver problemas criptográficos, simular fenómenos físico-químicos u optimizar sistemas logísticos y financieros mucho más eficientemente (a escala exponencial) que los actuales ordenadores.
- El estado actual de la denominada **criptografía postcuántica**, aquella que pretende desarrollar nuevos algoritmos criptográficos resistentes a los futuros ordenadores cuánticos, es el objeto de otro artículo. No es una tecnología cuántica; por el contrario, se trata de protegerse con tecnologías clásicas de una de las principales amenazas de los computadores cuánticos en los nuevos sistemas de información y comunicaciones.
- Por último, y aunque por volumen de mercado será el sector privado y las aplicaciones civiles el motor de desarrollo de estas tecnologías, el actual entorno geopolítico y la transformación radical en las actividades de la defensa y seguridad que supondrá la introducción de las tecnologías cuánticas hace que las **aplicaciones militares** tengan especial relevancia, como se pone de manifiesto en el último artículo.

Para concluir, una inevitable referencia a lo que ya se conoce como '**Convergencia QC e IA o QAC**' (Quantum Artificial Intelligence). Aunque la IA y la cuántica son áreas científicas y tecnológicas fundamentalmente distintas y la primera está mucho más madura, lo cierto es que las sinergias entre ambas son evidentes. En unas décadas, se fusionan el procesamiento cuántico y la IA, y el resultado es imprevisible, quizá el nacimiento de una nueva 'Era' que sustituirá a la 'Era de la IA' que empezamos a conocer. ▴

Félix Pérez Martínez ha sido el coordinador de este especial de la revista BIT sobre tecnologías cuánticas



**LUIS ENRIQUE GARCÍA MUÑOZ.**

Vicerrector de Investigación y Transferencia. Catedrático de Universidad, Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones. Universidad Carlos III de Madrid.

Sensores cuánticos

Límites y futuro de la ingeniería cuántica

No sabemos explicar aún de forma satisfactoria los principios subyacentes de la mecánica cuántica. Sin embargo, estamos en plena capacidad tecnológica para **desarrollar y aprovechar las novedosas y completamente diferenciadoras características que nos ofrecen las tecnologías cuánticas**. Por ejemplo, en lo referente a detección de las señales más débiles que pueda generar la Naturaleza. Nos encontramos precisamente en la orilla del océano de la aplicación en ingeniería de estas propiedades.

En 1894 Albert Michelson, premio Nobel de Física en 1907, comentaba que “la mayoría de los principios subyacentes habían sido establecidos” y citaba a Kelvin: “todo lo que quedaba por hacer era completar detalles en determinar algunas medidas con mayor número de decimales”. En 1900, Lord Kelvin señaló que “dos nubes se cernían: una tenía que ver con las propiedades de la luz y la otra con la radiación que emiten los objetos calientes”.

Esas dos nubes terminaron convirtiéndose en dos auténticas tormentas de granizo. Disipar la primera nube supuso que Albert Einstein pusiera encima de la mesa la teoría de la relatividad especial. La segunda nube, iniciada por Max Planck, comenzó también a ser disipada por el propio Einstein y dio lugar al

desarrollo de otra nueva teoría: la mecánica cuántica.

La teoría de la mecánica no es extraña. Simplemente, es. No es más extraña de lo que le podía resultar a la mayoría de los navegantes y científicos del siglo XV considerar que La Tierra es esférica (asumiendo que ninguno hubiera tenido conocimiento de los cálculos y postulados de Eratóstenes.)

Lo que ocurre es que sus evidencias experimentales nos producen, hasta el día de hoy, un desasosiego permanente. Los experimentos y resultados relativos a la mecánica cuántica van contra las mediciones y expectativas a las que nuestros sentidos humanos y experiencia nos llevan sometiendo durante miles y miles de años de evolución.

La mecánica cuántica no aplica a las ‘cosas pequeñas’ o al ‘mundo microscópico’. La mecánica cuántica **aplica a toda la Naturaleza**



A toda la Naturaleza

La mecánica cuántica no aplica a las 'cosas pequeñas' o al 'mundo microscópico'. La mecánica cuántica aplica a toda la Naturaleza, materia y luz, está compuesta de partículas: protones, neutrones, electrones, fotones... Existen fundamentalmente dos grandes aspectos experimentales de la mecánica cuántica que son inexplicables desde nuestros sentidos o intuición clásica: la superposición y el entrelazamiento. Bien, no tenemos ninguna explicación de estos dos fenómenos. Es así de sencillo. Nadie hoy en día es capaz de explicarlo.

Pero entonces, ¿por qué no observamos macroscópicamente estos fenómenos extraños? ¿por qué no estoy de pie y sentado al mismo tiempo según predice la mecánica cuántica? La respuesta es: decoherencia. Es el término que de nuevo usan los científicos para explicar que cada partícula interactúa con las demás y al hacerlo, se entrelaza

con ellas, y al entrelazarse pierde su estado de superposición; es decir, colapsa, dicen los científicos. Si esto sucede con dos partículas, imaginemos lo que puede suceder cuando entran en juego millones de partículas que forman mi cuerpo y millones de fotones de luz que iluminan estas letras.

Esta es la clave para los sensores cuánticos: se basan en la sensibilidad extrema de los estados cuánticos a las perturbaciones e interacciones. Superan las limitaciones de los sensores convencionales al poder detectar señales muy pequeñas (por ejemplo, interacciones con otras partículas que hacen que sus estados colapsen), lo que abre nuevas posibilidades en diversas áreas, como la salud, la arqueología, la geología y la astronomía.

Detectar cambios en un fenómeno físico

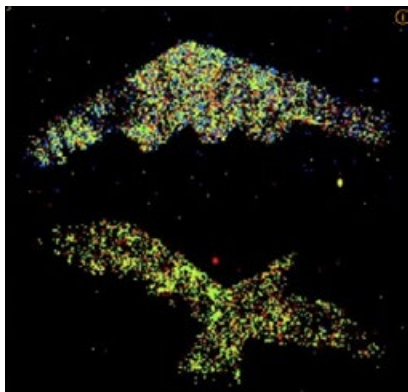
Podemos entonces generar dispositivos para medir posiciones, tiempos, navegar midiendo las señales más dé-

biles que la Naturaleza puede generar. Al permitir que una partícula exista en múltiples estados simultáneamente, los sensores cuánticos pueden aumentar la probabilidad de detectar cambios en un fenómeno físico. Al correlacionar el estado de dos o más partículas, los sensores cuánticos pueden lograr mediciones con mayor precisión, ya que cualquier cambio en un estado se reflejará en los otros.

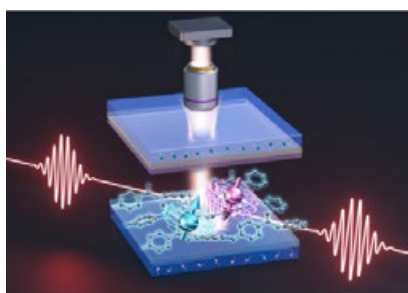
Por ejemplo, destaquemos el radar cuántico: se envía una partícula de un par entrelazado hacia el objetivo y se guarda la otra como referencia. Si la partícula que interactúa con el objetivo regresa, esto indica una detección positiva. El cambio en el estado cuántico de la partícula que interactúa con el objetivo se utiliza para extraer información sobre el objetivo, como su presencia, ubicación y características. La sensibilidad del radar cuántico se debe a la capacidad de aprovechar las correlaciones entre los fotones entrelazados para mejorar la detección de señales débiles.

Al correlacionar el estado de dos o más partículas, los sensores cuánticos pueden lograr mediciones con mayor precisión

La tecnología puede detectar objetivos con señales muy pequeñas, incluso en entornos ruidosos donde los radares convencionales tendrían dificultades. Esta tecnología podría detectar ob-



Imágenes simuladas obtenidas por un radar cuántico de un B-2 y un ave. Fuente: eeNews Europe.



Esquema de un navegador que no utiliza GPS basado en sensores cuánticos: más pequeño y con mayor sensibilidad que cualquier navegador clásico y, sobre todo, no dependiente de la constelación GPS satelital.

jetos 'casi invisibles' para los radares tradicionales, como aviones furtivos, debido a su capacidad para captar señales muy débiles. Cualquier contra-medida clásica será detectada por el radar cuántico al recibir una señal que no estará entrelazada con la referencia emitida, por tanto, dejará de existir el concepto de invisibilidad radar.

Otro ejemplo: un sensor cuántico puede medir el campo magnético de una sola neurona en el cerebro, mientras que un sensor clásico solo puede medir el campo magnético de un grupo de neuronas. Esto los hace prometedores para una amplia gama de aplicaciones en diferentes sectores, desde el ámbito médico, químico y farmacéutico hasta la energía y el medio ambiente, la logística y el transporte, la exploración espacial y la defensa.

Ya se ha desarrollado un sistema de navegación que funciona sin satélites que

Podemos entonces generar dispositivos para medir posiciones, tiempos, navegar midiendo las señales más débiles que la Naturaleza puede generar

no puede ser interferido y, según las pruebas, es hasta 50 veces más preciso que los sistemas de respaldo actuales. Existen pequeñas variaciones, llamadas anomalías magnéticas, que dependen de la geología local y que pueden ser detectadas y registradas en mapas de referencia.

Si se dispone de sensores lo bastante sensibles, se pueden comparar las mediciones locales con esos mapas para saber con precisión dónde se encuentra un objeto. Los magnetómetros disponibles eran demasiado ruidosos o poco estables, y el ruido generado por los propios vehículos impedía obtener lecturas fiables.

Además, los algoritmos de comparación entre los datos medidos y los mapas eran poco robustos. Estos problemas se resuelven combinando sensores cuánticos con algoritmos de aprendizaje en tiempo real que filtran el ruido y se adaptan a cada vehículo y entorno. Cada sensor tiene apenas una masa de 70 gramos y un volumen de 144 cm³. Puede instalarse en cualquier tipo de vehículo, desde coches hasta aviones, pasando por drones. Esta miniaturización es clave para su uso práctico. La capacidad de la tecnología para distinguir las señales de un objetivo de la del ruido de fondo es una de las principales ventajas que permite una mayor precisión y sensibilidad.

Futuro prometedor

Computación cuántica, sensores cuánticos e Inteligencia Artificial, correctamente combinados, acelerarán la innovación de forma exponencial, como se

explica en el informe de la Fundación Innovación Bankinter.

Gobiernos y empresas están invirtiendo en tecnologías cuánticas. El Reino Unido ha invertido 370 millones de euros el periodo 2019-2024. España invertirá 800 millones de aquí al 2030. Los analistas del sector esperan que los sensores cuánticos lleguen al mercado en un plazo aproximado de entre tres y cinco años con especial repercusión en medicina y defensa.

Los sistemas de detección cuántica son complejos y caros aún. Sin embargo, se trabaja con esfuerzos enormes de ingeniería en una nueva generación de sensores más pequeños y económicos. Recuerdo que hace unos años el profesor y maestro Carlos Camacho me invitó para impartir una conferencia. Al concluir, me preguntó por qué ahora existía tanto interés en la cuántica. Mi respuesta fue bastante imprecisa y torpe. La respuesta que daría hoy sería que durante los últimos años se han obtenido resultados asombrosos al respecto del tiempo en que somos capaces de preservar estados de partículas sin que la decoherencia les afecte.

Podemos manipular estas partículas, guiarlas y controlar su interacción de una forma sin precedentes desde hace unos cuantos años. Seamos suficientemente pacientes para seguir explorando las propiedades que nos ofrece la mecánica cuántica en ingeniería, con absoluta valentía, pero con la suficiente humildad de ser conscientes de que aún no tenemos una explicación de los fenómenos básicos que subyacen en la Naturaleza. ▴

Los analistas del sector esperan que los sensores cuánticos lleguen al mercado en un plazo aproximado de entre tres y cinco años



JESÚS FOLGUEIRA.
Ingeniero de Telecomunicación.
Gerente de Redes IP y de Transporte, Telefónica CTIO.

Las tecnologías cuánticas y el futuro de las comunicaciones

En 2023 ya se realizó una introducción en la revista BIT sobre la segunda revolución cuántica, resultado de la convergencia de la física cuántica que explica los fenómenos del mundo microscópico y las tecnologías de la información y las comunicaciones, y que permiten el procesamiento y transmisión de la información. Alrededor de la urgencia en afrontar la amenaza que la computación cuántica tiene sobre las actuales soluciones de criptografía de nuestra sociedad digital, **hay un foco creciente sobre la seguridad que impulsa la evolución de las comunicaciones cuánticas.**

En la Teoría Cuántica de la Información, fruto de la segunda revolución cuántica, podemos distinguir:

- **Procesado** de la información: computación cuántica.
- **Transferencia** de la información: comunicaciones cuánticas.
- **Adquisición** de la información: metrología y sensorica.

Analizaremos las comunicaciones, visualizando un escenario de llegada, identificando retos y oportunidades, y describiendo las primeras aplicaciones (QKD, Quantum Key Distribution).

Cuando hablamos de información cuántica, el concepto clave es el de cúbit. Remito al lector al artículo publicado en 2023 para más detalles, porque ahora sólo recordaremos que son el equivalente cuántico de los bits. Las principales propiedades de la cuántica utilizadas son:

- **Superposición:** los cúbits pueden existir en múltiples estados simultáneamente (0 y 1 a la vez), permitiendo mayor capacidad de procesamiento.

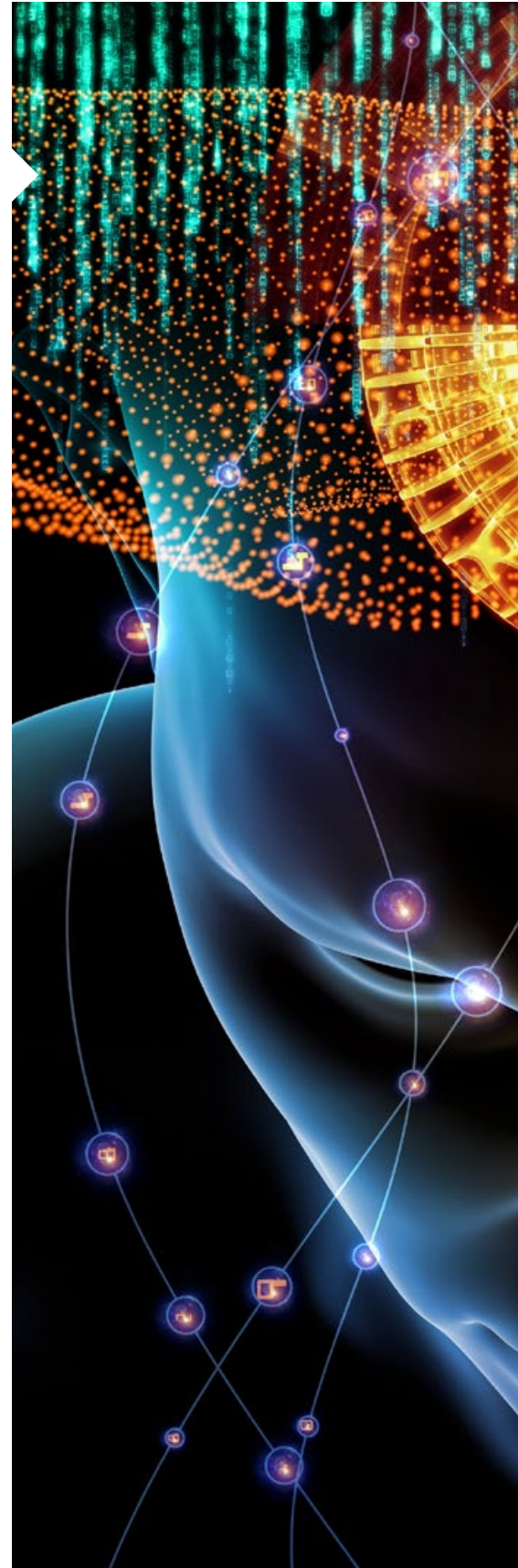
- **Entrelazamiento:** correlación entre estados tal que, aunque estén separados, la medida de uno de ellos implica el valor del otro.
- **Interferencia** de ondas: las partículas se comportan como ondas en el mundo cuántico.

El formalismo de la mecánica cuántica es similar al de la Teoría de la Señal, por lo que está más cerca de lo que parece de nuestra formación como Ingenieros de Telecomunicación.

Amenazas y oportunidades

La enorme capacidad de cómputo que tendría un ordenador cuántico abre la puerta a la solución de problemas complejos, al tiempo que amenaza la criptografía actual, basada en problemas matemáticos difíciles para un ordenador clásico (como factorización de números primos o curvas elípticas), pero que un ordenador cuántico podría resolver.

La actual criptografía permea todos los sistemas, equipos o plataformas, y nuestra vida digital; desde nuestras compras hasta las relaciones con las administraciones.





**A la espera de un
ordenador cuántico,
hay que evolucionar
hacia comunicaciones
seguras en este
entorno, lo que se
conoce como
Quantum Safe**

Por tanto, a la espera de un ordenador cuántico, hay que evolucionar hacia comunicaciones seguras en este entorno, lo que se conoce como Quantum Safe.

Entre las soluciones podemos contar con criptografía postcuántica (PQC) y QKD. En ocasiones se plantean como excluyentes, pero ambas son herramientas a nuestra disposición.

La criptografía postcuántica modifica el tipo de algoritmos utilizados y eso no ofrece ninguna garantía de que no se pueda comprometer. Las soluciones QKD, al basarse en las leyes de la física, son teóricamente inviolables.

Elementos de comunicaciones cuánticas

Los ingredientes básicos para establecer una comunicación cuántica son:

1. Un canal que permita enviar los cúbits.
2. Elementos para la preparación y análisis de los cúbits (emisores y detectores).
3. Capacidades de conversión cuántica, pasando de cúbits que se transmiten en fotones a cúbits estacionarios en la materia.
4. Unas ciertas capacidades de procesamiento cuántico.
5. Memorias cuánticas, o técnicas equivalentes.

Hoy en día, disponemos de los dos primeros puntos, lo que permite realizar el intercambio de claves en un canal cuántico en QKD. Al largo plazo, las redes cuánticas requieren completar los puntos 3 al 5, todavía en investigación básica.

El elemento clave son los repetidores cuánticos que reducirán las limitaciones de alcance y evolucionarán con el tiempo hacia nodos de conmutación (conmutadores y routers actuales). Una red cuántica no supone más que incorporar al transporte de bits el de cúbits.

Hacia la Internet Cuántica

Para entender el futuro que está por venir, revisemos la evolución de la Internet actual, ya que la Internet cuántica posiblemente seguirá fases similares.



Programa QKD por satélite de la Agencia Europea del Espacio. Fuente: ESA.

Los ordenadores electromecánicos aparecen en los años 40 del siglo pasado; el transistor se inventó en 1947 y, una década después, los circuitos integrados. En paralelo, se desarrolla una arquitectura de red y protocolos de red. El crecimiento de la red viene del aumento del **número de puntos** de conexión y de terminales, históricamente impulsado por la popularización del PC.

Por último, necesitaremos aplicaciones. El despegue de Internet llegó con los servicios web en los años 90 y, a finales de los 2000, la Internet móvil y las redes sociales dieron paso a la actual economía digital, con la IA como nueva transformación.

Actualmente, estamos iniciando el camino hacia la Internet Cuántica, buscando el equivalente al transistor y los

primeros circuitos, pero con la ventaja de la infraestructura existente (especialmente fibra) y a la espera de la aceleración que aporten los repetidores cuánticos. Aún falta definir topologías, protocolos y conmutación (en fase de I+D y foros como ETSI o IETF) y esperar la demanda de conectividad.

En síntesis, vivimos la fase de tecnología base y necesitamos avanzar hacia topologías complejas, protocolos y aplicaciones.

Hacia las comunicaciones cuánticas

La mejora de la seguridad y privacidad de los usuarios es clave en los servicios de telecomunicación. Junto con la expansión de la fibra, asegura una buena posición de partida para las comunicaciones cuánticas, cuyo éxito requiere:

- Un marco de referencia para el diseño y despliegue, común para las

soluciones a corto plazo (QKD) y a largo plazo (redes cuánticas).

- Impulsar el desarrollo tecnológico, impulsando soluciones abiertas que faciliten el desarrollo de servicios, e incluyendo la operación de la red desde el inicio.
- Fomentar un ecosistema saludable, con estándares e implementaciones de referencia abiertos, y la participación de investigadores, fabricantes, clientes y operadoras.

El diseño de la Red seguirá la clásica aproximación en planos de red:

- Plano extremo a extremo (E2E), donde ofrecer aquellos recursos de carácter cuántico a las aplicaciones y servicios. Por ejemplo, en QKD, la plataforma de almacenamiento y distribución de claves (KMS).
- Plano de transmisión cuántica (Quantum Forwarding Plane, QFP), que realice el intercambio directo de cúbits y pueda usar funciones como entrelazamiento para distribuir información.

Los planos E2E y QFP interaccionan a través de un plano de control SDN, garantizando un mayor grado de automatización y abstracción de los recursos de red.

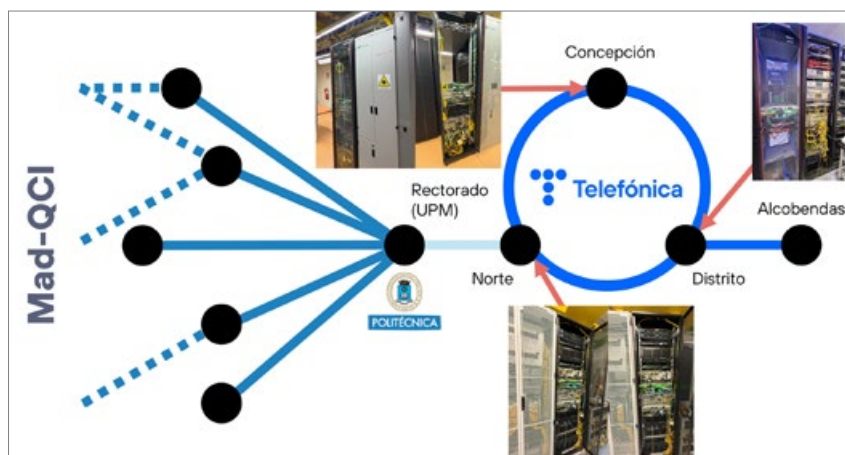
La red cuántica debe ser capaz de interactuar con redes clásicas e integrarse en una visión común de la operación y mantenimiento y desde su diseño debe contemplarse la composición de dominios y federaciones de redes para facilitar la escala.

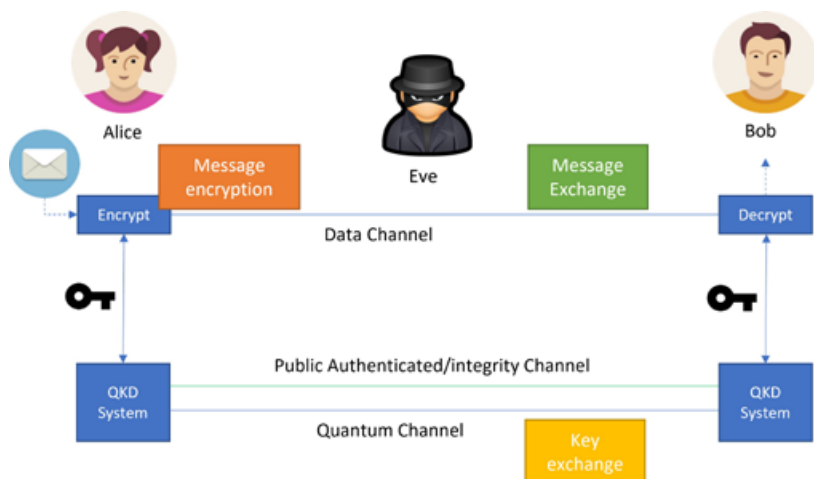
La evolución de los distintos componentes debe contrastarse en entornos de producción actuales, sin infraestructuras ni procedimientos especiales para las redes cuánticas. Sólo así se garantizará su viabilidad y escala.

Comunicaciones seguras: QKD

La primera aplicación práctica de las comunicaciones cuánticas es QKD, que es una solución que no se puede comprometer, ya que el teorema de No-clonación determina que no es posible copiar el estado de un cúbit sin alterarlo.

El mecanismo se comentó en el artículo de BIT de 2023, pero recordamos





Esquema de funcionamiento de QKD.

el esquema de funcionamiento en la figura adjunta. Lo relevante es el canal cuántico donde se produce el intercambio de claves que encriptan las comunicaciones transmitidas sobre el canal clásico.

Tanto la fibra como conexiones ópticas en espacio libre o satélites pueden soportar el canal cuántico. La fibra tiene menor alcance, pero mejor calidad y velocidad de claves. Y es una infraestructura más barata, de la que hay despliegues masivos en muchos países. España es uno de los referentes mundiales.

El límite de distancia viene determinado porque los cúbits no pueden atravesar elementos activos (amplificadores) sin que se destruya el canal cuántico. Hablamos de unos 100-130 km, distancias habituales de área metropolitana. Las futuras generaciones de fibra (Hollow Core) ofrecerán menos atenuación y mayores alcances, pero están en desarrollo.

Respecto a las tecnologías QKD, la más madura es la de variable discreta (DV-QKD). Admite atenuaciones y distancias mayores, pero requiere un medio dedicado (al menos una longitud de onda u otra banda) y necesita componentes especiales, más caros.

La alternativa es la tecnología de variable continua (CV-QKD), que usa componentes optoelectrónicos iguales a los de los equipos de red y promete una coexistencia con canales clásicos más sencilla. Es computacionalmente más compleja, pero es más barato actualmente.

Hay variantes que se basan en un equipo intermedio entre los puntos Alice y Bob, como MDI (Measurement-Device-Independent), con entrelazamiento o TF (Twin Field), basada en óptica coherente. Se lleva tiempo trabajando en las tecnologías QKD, su integración y operación, y en los distintos casos de uso que pueden habilitar.

Para largas distancias se usarán enlaces de satélite, con menores prestaciones (velocidad de intercambio de claves reducida) y un elevado coste en infraestructura. Se utilizan comunicaciones ópticas directas, por lo que los componentes son láseres, fotodetectores y telescopios. En Europa, la mayor parte de las iniciativas están todavía en fase de prototipado o demostrador. Se espera que en breve se pueda contar con satélites con capacidades QKD, como la iniciativa Eagle-1 de la ESA.

En España, Hispasat lidera el proyecto CARAMUEL/Q-DESIGN, junto con centros de investigación, fabricantes y operadores.

Coexistencia en redes ópticas

Una de las barreras en el despliegue de QKD o redes cuánticas a futuro es la coexistencia sobre los mismos medios de los canales de datos y del canal cuántico, compartiendo las fibras ópticas.

Las modificaciones en la red óptica se limitan a incorporar elementos para combinar y separar canales clásicos y cuánticos (que no pueden amplificarse) y filtros para reducir el ruido que sobre el canal cuántico introduce la amplificación de los canales clásicos.

La viabilidad de la coexistencia, validada en pruebas de campo, elimina una importante barrera de despliegue. Los aspectos para considerar se resumen en la tabla adjunta. ▴

En resumen

Las comunicaciones cuánticas están en desarrollo, con soluciones prácticas como QKD. España puede protagonizar su desarrollo gracias a su ecosistema de usuarios, operadores de telecomunicaciones, *startups*, organismos de investigación y entidades públicas comprometidas. Impulsar la colaboración público-privada para acelerar estas nuevas tecnologías es clave para no perder el tren de esta revolución tecnológica.

Aspectos clave	Impacto	Referencia
Atenuación de la fibra	Potencia del canal cuántico	Vanos de 16-20 dB típicamente
Potencia de transmisión de los canales clásicos	Ruido no lineal sobre el canal cuántico	Reducción de la potencia de canales clásicos hasta 8dB mejora las prestaciones
Ruidos de los amplificadores ópticos	Ruido no lineal sobre el canal cuántico	Basta con dos filtros <i>notch</i> en cascada para un sistema CV-QKD, validado en campo
Distribución en frecuencia de los canales cuánticos	Ruido no lineal sobre el canal cuántico	Típicamente mejor cuanto más alto estén en la banda C
Distribución en frecuencia de los canales clásicos	Ruido no lineal sobre el canal cuántico	En banda C mejora cuando están cerca del canal cuántico

Criterios de coexistencia en la fibra.

**ALBA CERVERA LIERTA.**

Investigadora sénior en el Barcelona Supercomputing Center – Centro Nacional de Supercomputación.

FOTOS. Mario Ejarque. ©BSC-CNS 2024 y ©BSC-CNS 2021.

Computación Cuántica

Una nueva (r)evolución en computación

La computación de altas prestaciones sigue avanzando y buscando nuevas formas de adaptarse a los problemas computacionales actuales. La computación cuántica **surge como una evolución natural de los ordenadores pensada para resolver de forma más eficiente algunas aplicaciones científicas y tecnológicas**. Estos dispositivos, aún en su infancia, mejoran año tras año y ya se pueden encontrar y utilizar en centros de supercomputación.

El transistor, las placas fotovoltaicas, el GPS, el láser o las técnicas de imagen médica son solo algunos ejemplos de inventos que han cambiado el mundo y la tecnología. Detrás de ellos encontramos la física de los semiconductores, el efecto fotoeléctrico, el reloj atómico, la luz coherente y la resonancia magnética nuclear, respectivamente.

Todos estos efectos fueron descubiertos y descritos gracias a la física cuántica durante el siglo XX en lo que se conoce como la ‘primera revolución cuántica’. ¿Podemos ir más allá? ¿Podemos describir y controlar sistemas cuánticos individuales y descubrir nuevas aplicaciones tecnológicas? La respuesta es sí: no sólo podemos, sino que ya lo estamos haciendo.

Estamos ahora inmersos en la ‘segunda revolución cuántica’ y las tecnologías cuánticas de segunda generación ya empiezan a utilizarse. Entre ellas, destaca la computación cuántica: ser capaces de codificar y procesar información en estados cuánticos y con ello extender las capacidades computacionales actuales.

Del bit al cúbit

La información (clásica) se codifica usando el sistema binario, los famosos ‘0’ y ‘1’, los bits. En computación cuántica, los bits cuánticos (llamados *cúbits*) tienen propiedades heredadas de su naturaleza cuántica. Las más relevantes son la ‘superposición’ y la ‘interferencia’.” No vamos a entrar a detallar en este artículo en qué consisten estas

Estamos ahora inmersos en la ‘segunda revolución cuántica’ y las tecnologías cuánticas de segunda generación ya empiezan a utilizarse





Edificio del Barcelona Supercomputing Center – Centro Nacional de Supercomputación, BSC.



Instalación del chip cuántico en el BSC.

propiedades, pero sí hay que destacar que gracias a ellas algunos problemas matemáticos muy complejos pueden resolverse más eficientemente que con computación tradicional.

La computación cuántica se propuso originalmente para simular sistemas cuánticos de forma eficiente. La capacidad de que las partículas cuánticas tengan propiedades como la superposición y el entrelazamiento cuántico hace que tratar de simular su dinámica con computación tradicional sea exponencialmente costoso en la mayoría de los casos.

De forma natural, surgió la idea en los años 80 del pasado siglo de construir un ordenador capaz de procesar la información bajo las mismas propiedades que los sistemas cuánticos que quiere simu-

lar; es decir, que tenga también estas propiedades cuánticas. Poder mejorar las simulaciones de los sistemas cuánticos tiene aplicaciones en química y ciencia de materiales, al ser la física cuántica la que gobierna sus propiedades.

Por otro lado, existen algunos problemas matemáticos complejos y (hasta la fecha) irresolubles eficientemente con computación tradicional, que la computación cuántica ha demostrado poder resolver eficientemente a nivel teórico. Este es el caso de la factorización de números enteros, resuelta con el algoritmo cuántico de Shor.

El hecho de que factorizar no sea eficiente está en el núcleo de la seguridad de los protocolos de criptografía de clave pública actuales. De modo que, si

se construyera un ordenador cuántico lo suficientemente potente, descifraría todos los mensajes encriptados presentes y pasados. Aunque no contamos con estos ordenadores actualmente (que sepamos), ya se está trabajando en actualizar dichos protocolos con otros resistentes a ordenadores cuánticos (criptografía post-cuántica), a la vez que se trabaja en la solución a largo plazo (criptografía cuántica).

Por último, se están explorando muchas más aplicaciones potenciales, como lo son el diseño de modelos de Inteligencia Artificial cuántica o la resolución de problemas de optimización. En algunos casos de forma heurística (sin tener demostración matemática de que existe una ventaja cuántica), pero comparando las soluciones con algoritmos tradicionales.

A diferencia de la computación tradicional, basada casi exclusivamente en semiconductores, la computación cuántica se basa en varias tecnologías potenciales

Cómo es un computador cuántico

Un ordenador o computador cuántico está compuesto por tres grandes partes: la unidad de procesamiento cuántica (la QPU, el hardware puramente cuántico, que contiene los *cúbits*), el sistema de

control de la QPU (electrónica rápida, fotónica y generadores de ondas, entre otros elementos) y el software que permite mandar instrucciones a la QPU mediante el sistema de control.

Un ordenador cuántico se programa desde un ordenador tradicional mediante el uso de librerías de software que traducen las instrucciones abstractas (circuitos cuánticos, puertas lógicas) al sistema físico que las implementa, a la vez que retorna una serie de señales que codifican el estado medido de los *cúbits* para su posterior post-procesamiento.

A diferencia de la computación tradicional, basada casi exclusivamente en semiconductores, la computación cuántica se basa en varias tecnologías potenciales, todas con sus pros y contras experimentales. Así, se pueden construir ordenadores cuánticos usando circuitos superconductores, fotónica, átomos neutros, iones atrapados, puntos cuánticos, etc. Hoy en día, no está clara qué tecnología va a ser la definitiva: varias empresas y grupos de investigación trabajan en paralelo con todas ellas.

Lo que sí tienen en común todos los tipos de ordenadores cuánticos es que no son todavía 'tolerantes a fallos', porque generan una serie de errores al ejecutar los algoritmos cuánticos que no se pueden corregir con la tecnología actual y, por tanto, el resultado de la computación no es el esperado teóricamente. Además, el número de *cúbits* es todavía bajo, siendo la escalabilidad de estos dispositivos un reto pendiente.

Estos hechos limitan las aplicaciones de la computación cuántica actual, pero también plantean un campo de investigación muy amplio y vibrante. En paralelo, la tecnología mejora año tras año, pasando de ordenadores cuánticos de apenas cinco *cúbits* a prototipos de más de 1.000 en menos de 10 años.

Democratizar el acceso

Además de los retos tecnológicos (mejora del hardware cuántico), es necesario que la computación cuántica se democratice, como toda tecnología disrupti-

A la vez que crece la demanda de ordenadores cuánticos es fundamental que el acceso para la investigación se facilite

va. El acceso a los primeros ordenadores cuánticos a través de la nube ha estado dominado casi por completo por las grandes empresas tecnológicas que los desarrollan (como IBM o Google) o por *startups* que han surgido de los primeros grupos de investigación que trabajaron en este campo (Rigetti o IonQ).

Actualmente se puede solicitar acceso bajo pago a ordenadores cuánticos en plataformas como Amazon Braket o Microsoft Azure. A la vez que crece la demanda de ordenadores cuánticos por parte de la comunidad investigadora y empresarial, es fundamental que el acceso para la investigación se facilite. Al fin y al cabo, hablamos de una tecnología todavía en pañales, que necesita crecer y ser experimentada por todo tipo de investigadores e ingenieros. Por ello, los centros de supercomputación se postulan como un sitio natural donde albergar estos ordenadores cuánticos y facilitar su acceso público, del mismo modo que lo hacen para la supercomputación tradicional.

En esa dirección, Europa apuesta por ampliar la iniciativa EuroHPC-Joint Undertaking para adquirir e instalar ordenadores cuánticos en centros de supercomputación europeos. El Barcelona Supercomputing Center es uno de

estos primeros centros seleccionados, que además ya cuenta con un ordenador cuántico instalado gracias al proyecto Quantum Spain, impulsado por el Ministerio de Digitalización. Ambos ordenadores cuánticos están fabricados con tecnología 100% europea, alineándonos con la estrategia de soberanía tecnológica de la Unión Europea.

De hecho, las empresas que hay detrás de estos dispositivos son españolas (Qilimanjaro Quantum Tech, GMV y DoIT Now). Recientemente, ya se ha habilitado el acceso público y competitivo al ordenador cuántico de Quantum Spain a través de la Red Española de Supercomputación.

En resumen, la computación cuántica es una tecnología disruptiva que promete revolucionar muchos campos como la química, la criptografía o la ciencia de materiales. Se complementa con la computación tradicional y, de hecho, ordenadores cuánticos están siendo instalados e integrados en los centros de supercomputación como en el Barcelona Supercomputing Center. Es una tecnología que todavía vive su infancia y los retos que tiene por delante abren el campo a multitud de disciplinas, desde la física más básica a la ingeniería más aplicada. ▴



MareNostrum5 Ona, instalado en la capilla de la Torre Girona en el Barcelona Supercomputing Center – Centro Nacional de Supercomputación, BSC.



**LUIS HERNÁNDEZ ENCINAS.**

Grupo de investigación en Criptología y Seguridad de la Información (GiCSI). Instituto de Tecnologías Físicas y de la Información (ITEFI). Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Estado actual de la **criptografía postcuántica**

Los avances en la computación cuántica y la publicación de algoritmos cuánticos capaces de resolver los problemas matemáticos que proporcionan seguridad a la criptografía actual han propiciado que la comunidad criptográfica se enfrente al problema de **diseñar nuevos algoritmos criptográficos resistentes a los futuros ordenadores cuánticos**. En este breve artículo hacemos un repaso a la situación actual de la que ya se ha dado en llamar criptografía postcuántica.

Para plantar la información de una manera ordenada, se ha dividido el texto en cuatro partes: criptografía precuántica y cuántica; criptografía postcuántica; soluciones temporales, y algunas ideas a modo de conclusión.

Tradicionalmente se consideran dos tipos de sistemas de cifrado, los criptosistemas simétricos y los asimétricos, y numerosos protocolos criptográficos, como acuerdos de clave, funciones *hash*, esquemas de firma digital, etc.

Criptografía precuántica y cuántica

Llamamos criptografía precuántica a la que utilizamos hoy en día y que nos permite garantizar la confidencialidad, integridad y autenticidad de la información. Esta criptografía se considera segura, siempre y cuando utilicemos protocolos criptográficos estandarizados y no dispongamos de un ordenador cuántico con capacidad de cálculo suficiente como para romper los algoritmos criptográficos utilizados; es decir, de un ordenador cuántico criptográficamente relevante (Cryptographically Relevant Quantum Computer, CRQC).

La seguridad de los algoritmos implicados en los criptosistemas asimétricos y en numerosos protocolos se basa en la dificultad computacional de resolver determinados problemas matemáticos.

Actualmente, se consideran seguros el problema de la factorización de enteros (Integer Factorization Problem, IFP) y el problema del logaritmo discreto (Discrete Logarithm Problem, DLP). No obstante, el desarrollo de la computación cuántica y la publicación de determinados algoritmos cuánticos, implementables en los futuros CRQC, ha puesto en tela de juicio

Llamamos criptografía precuántica a la que utilizamos hoy en día y que nos permite garantizar la confidencialidad, integridad y autenticidad de la información

la seguridad de los algoritmos mencionados y, por tanto, la supervivencia de la criptografía que depende de ellos.

Así, los algoritmos cuánticos de Shor [15] son capaces de resolver en tiempo polinómico el IFP y el DLP, y el algoritmo cuántico de Grover [8] puede reducir el tiempo necesario para romper un criptosistema simétrico a su raíz cuadrada. Resultados más recientes sugieren que la criptografía simétrica podría no ser tan resistente a la computación cuántica [9].

La pregunta que surge ante esta situación y con la amenaza del planteamiento 'Almacena ahora, descifra después' (*Store now, decrypt later*) es: ¿De cuánto tiempo disponemos para garantizar la seguridad de la información que manejamos cotidianamente? El llamado Teorema de Mosca [10] trata este tema y enuncia: "Sean x el tiempo necesario para que los datos confidenciales sean seguros, y el tiempo necesario para equipar la infraestructura existente con una solución cuánticamente segura y z el tiempo necesario para construir un CRQC. Entonces, si $x + y > z$, tenemos un grave problema".

Es de esperar que, antes o después, la Mecánica cuántica será capaz de proponer algoritmos criptográficos que

permitan definir **criptosistemas y protocolos cuánticamente seguros**.

Mientras tanto, sólo disponemos de algoritmos cuánticos que solucionan el problema del acuerdo de claves entre usuarios (Quantum Key Distribution, QKD) como el BB84 [4], logrando que dos usuarios acuerden una colección de bits clásicos mediante la transmisión de fotones.

Criptografía postcuántica

En 2016, el NIST (National Institute for Standards and Technology) norteamericano lanzó una convocatoria para la estandarización de algoritmos criptográficos asimétricos que, implementados en los ordenadores actuales, sean resistentes a la computación cuántica.

Las propuestas presentadas se basaban en las siguientes herramientas matemáticas:

- Isogenias sobre curvas elípticas.
- Sistemas de ecuaciones cuadráticas en varias variables.
- Códigos correctores de errores.
- Funciones *hash*.
- Retículos.

Hoy en día, las propuestas basadas en las dos primeras se han descartado por falta de seguridad.

Las principales conclusiones que podemos extraer:

1. La criptografía precuántica tiene fecha de caducidad. No sabemos la fecha exacta, pero es un hecho que, tarde o temprano, la computación cuántica la vulnerará.
2. Mientras, se deben tomar precauciones a la hora de elegir y utilizar algoritmos criptográficos, esto es, se deben considerar los estándares precuánticos y utilizar los tamaños de clave apropiados.
3. Además, se recomienda el uso de sistemas híbridos, esto es, la unión de sistemas precuánticos y postcuánticos, simultáneamente.
4. La criptoagilidad debería ser un criterio de diseño fundamental para los nuevos productos.
5. Es necesario considerar las nuevas propuestas de criptografía postcuántica como herramientas básicas de futuro, ya sean como algoritmos de cifrado/descifrado, protocolos de acuerdos clave, esquemas de firma digital y cualquier otra aplicación que requiera del uso de la criptografía como herramienta básica.



La criptoagilidad es la capacidad de un sistema de seguridad para cambiar rápidamente a nuevos mecanismos de cifrado cuando aparecen vulnerabilidades

Esta convocatoria sólo consideraba mecanismos de encapsulamiento de claves (Key Encapsulation Mechanisms, KEM) y firmas digitales (Digital Signature, DS). Después de un periodo de análisis realizado por la comunidad criptográfica mundial, en 2023, el NIST publicó los nuevos algoritmos estándares: el KEM denominado ML-KEM [11] (anteriormente CRYSTALS-Kyber) y tres DS: ML-DSA [12] (antes CRYSTALS-Dilithium), FN-DSA (antes FALCON) y SLH-DSA [13] (antes Sphincs+).

Dado que los cuatro primeros estándares fundamentan su seguridad en problemas matemáticos definidos sobre retículos y el último lo hace sobre funciones hash, el NIST ha seleccionado recientemente otro KEM, basado en problemas de códigos correctores de errores, HQC [2], como quinto algoritmo postcuántico. Además, este organismo ha lanzado una nueva convocatoria adicional para nuevas firmas digitales.

Así pues, y a modo de resumen, hay publicados tres algoritmos criptográficos postcuánticos estándares: ML-KEM, ML-DSA y SLH-DSA, otro en vías de publicación, FN-DSA, y uno más a punto de ser estandarizado: HQC.

Todos ellos son los que, por ahora, constituyen lo que se ha dado en llamar **criptografía postcuántica** (PQC, Post-Quantum Cryptography). En todo caso, es de destacar que los organismos europeos no han descartado otro KEM, FrodoKEM [1], como posible estándar, a pesar de que el NIST sí lo ha desechado.

A la vista de esta situación, varias organizaciones europeas (ENISA, SOG-IS, Parlamento Europeo, etc.) recomiendan implementar, a la mayor brevedad posible, los estándares propuestos en la convocatoria del NIST.

También los principales servicios gubernamentales europeos (ANSSI [3], BSI [6], CCN [7] y NLNCS [14]), responsables de la seguridad de sus países, han elaborado recomendaciones para migrar hacia los nuevos estándares criptográficos postcuánticos.



Todos estos organismos, responsables de la seguridad, señalan que en 2030 la PQC debe estar implementada en los sistemas e infraestructuras que se consideren críticos y en 2035 debe ser una realidad en todos los sistemas que usen criptografía.

Soluciones temporales

En tanto los estándares publicados y las propuestas seleccionadas por el NIST se convierten de facto en estándares de amplio uso, se han propuesto dos soluciones temporales: el uso de la denominada **criptoagilidad** y llevar a cabo una **transición híbrida** desde la criptografía precuántica a la postcuántica.

La **criptoagilidad** es la capacidad de un sistema de seguridad para cambiar rápidamente a nuevos mecanismos de cifrado cuando aparecen vulnerabilidades, por lo que se recomienda que los nuevos sistemas criptográficos se diseñen según este principio. Por su parte, la **hibridación** consiste en construir soluciones que combinen primitivas precuánticas y postcuánticas, con el fin de obtener las garantías de seguridad de ambas.

Las empresas del ramo de la seguridad están llamadas a implementar, a la mayor brevedad posible, los estándares postcuánticos, si bien, pueden desde ya mismo comenzar a utilizar estas soluciones temporales. ▴

Referencias

- [1] E. Alkim et al. FrodoKEM. Learning With Errors Key Encapsulation, <https://frodokem.org/>.
- [2] C. Aguilar et al. HQC (Hamming Quasi-Cyclic), <http://pqc-hqc.org/index.html>.
- [3] Agence Nationale de la Sécurité des Systèmes d'Information. ANSSI views on the post-quantum cryptography transition, 2022, https://cyber.gouv.fr/sites/default/files/document/EN_Position.pdf
- [4] C.H. Bennett and G. Brassard, Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing, Theoretical Computer Science, 560 (2014), 7-11.
- [5] D.J. Bernstein. Classic McEliece: conservative code-based cryptography. <https://classic.mceliece.org/nist.html>.
- [6] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Migration to Post Quantum Cryptography, Recommendations for action by the BSI, 2021, https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/EN/BSI/Crypto/Migration_to_Post_Quantum_Cryptography.pdf?__blob=publicationFile&v=2.
- [7] Centro Criptológico Nacional. Recomendaciones para una transición postcuántica segura, CCN-TEC 009, 2022, <https://www.ccn.cni.es/index.php/es/docman/documentos-publicos/boletines-pytec/495-ccn-tec-009-recomendaciones-transicion-postcuantica-segura/file>.
- [8] K.L. Grover. Quantum mechanics helps in searching for a needle in a haystack, Phys. Rev. Lett. 79 (1997), 325-328.
- [9] M. Kaplan, G. Leurent, A. Leverrier, and M. Naya-Plasencia. Breaking symmetric cryptosystems using quantum period finding, LNCS 9815 (2016), 207-237.
- [10] M. Mosca. Cybersecurity in a Quantum World: will we be ready? University of Waterloo, 2015.
- [11] NIST. Module-Lattice-Based Key-Encapsulation Mechanism Standard. FIPS 203, 2023. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.203.ipd>.
- [12] NIST. Module-Lattice-Based Digital Signature Standard. FIPS 204, 2023. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.204.ipd>.
- [13] NIST. Stateless Hash-Based Digital Signature Standard. FIPS 205, 2023. <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.205.ipd>.
- [14] Netherlands National Communications Security Agency. Prepare for the threat of quantum computers, 2021, <https://english.aivd.nl/binaries/aivd-en/documenten/publications/2022/01/18/prepare-for-the-threat-of-quantumcomputers/Prepare+for+the+threat+of+quantumcomputers.pdf>.
- [15] P.W. Shor. Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer, SIAM J. Computing, 5, 26 (1997), 1484-1509.



MANUEL MARTÍNEZ-RUIZ.

Vicealmirante (ret) Dr. Ingeniero de Telecomunicación

Tecnologías cuánticas aplicadas a Defensa y Espacio

Como siempre que hay una revolución científica, la aplicación de estas nuevas tecnologías requiere un cambio de paradigma. En este artículo, Manuel Martínez-Ruiz nos introduce en el **impacto de las tecnologías cuánticas en los ámbitos de la Defensa y el Espacio**.

En el ámbito militar la aplicación de las tecnologías cuánticas supone la creación de nuevas doctrinas, políticas y estrategias que se pueden englobar en general bajo la denominación ‘*quantum warfare*’ (guerra cuántica) que se podría definir como [1]: “*Quantum warfare (QW) is warfare that uses quantum technologies for military applications that affect intelligence, security and defence capabilities of all warfare domains and brings new military strategies, doctrines, scenarios and peace or ethics issues*” (“Es una guerra que utiliza tecnologías cuánticas para aplicaciones militares que afectan las capacidades de inteligencia, seguridad y defensa de todos los dominios de la guerra y aportan nuevas estrategias militares, doctrinas, escenarios y cuestiones de paz o ética”).

A nivel orgánico, tanto en el Ministerio de Defensa de España como en la Unión Europea y en la OTAN se están llevando a cabo estrategias de desarrollo tecnológico que contemplan la tecnología cuántica. Baste mencionar algunos:

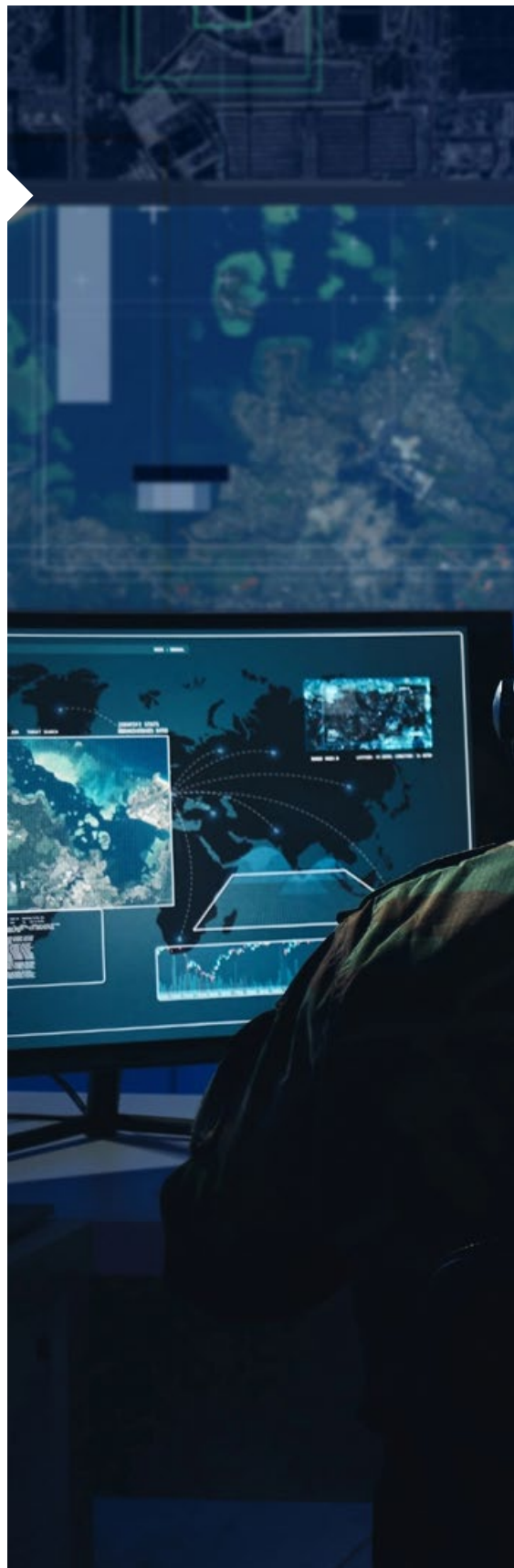
- Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID), SEDEF diciembre 2020. prevista su actualización en 2025.
- Estrategia Nacional de Tecnologías Cuánticas 2025-2030, 15 de abril de 2025.
- White Paper for European Defence Readiness 2030, 21 march 2025.
- NATO Quantum Technology Strategy, 17 Jan 2025.

Aplicaciones en Defensa

La figura 1 muestra cómo prácticamente todos los dominios de la guerra pueden estar afectados por la irrupción de estas tecnologías, desde sistemas inerciales hasta guerra electrónica, radares, comunicaciones, sistemas ISR y aumento de la capacidad computacional, con un doble propósito: abordar problemas de modelización complejos y ser capaces de romper los algoritmos de encriptación existente.

Adicionalmente a las aplicaciones en computación, sensorización y comu-

Además de las aplicaciones en computación, sensorización y comunicaciones, las tecnologías cuánticas tendrán un enorme potencial en la física de materiales aplicados a defensa





nicaciones, las tecnologías cuánticas tendrán un enorme potencial en la física de materiales aplicados a defensa. Un ejemplo son los superconductores de alta temperatura. Estos materiales podrían revolucionar la propulsión naval, los sensores y el almacenamiento de energía si se demuestra su funcionamiento a temperatura ambiente.

A continuación, se mencionan algunas de las tecnologías y aplicaciones más destacables.

Comunicaciones cuánticas: ciberseguridad y redes

La computación cuántica puede poner en riesgo los esquemas de cifrado utilizados en defensa, por lo que es necesario implantar una tecnología de cifrado post-cuántica.

Los algoritmos denominados '*quantum resilient*' ofrecen un nuevo paradigma en el uso de métodos de encriptación, tales como el FHE (*Fully Homomorphic Encryption*)¹. Estas aplicaciones están más en el ámbito de la matemática teórica que en la implementación práctica y podría tener aplicaciones en la computación cuántica basada en la nube, que requiere un nivel de seguridad extremadamente alto.

La criptografía post-cuántica también sería candidata en aplicaciones IOT² o más bien su variante militar, IOMilitaryT³.

El objetivo de las redes cuánticas es transmitir información cuántica a través de varias tecnologías sobre una diversidad de canales, tales como fibra óptica de bajas pérdidas, espacio libre o satélite. Concretamente la tecnología QKD (ver artículo sobre comunicaciones cuánticas en este mismo especial) está siendo impulsada por la industria de defensa de forma muy determinada y en particular en proyectos tales como OPTIMAS de comunicaciones láser ciberseguras para satélites, drones y otras unidades militares. También el consorcio europeo QUARTER tiene como objetivo implementar una red de seguridad cuántica para las comunicaciones en Europa y con aplicaciones en defensa.



Figura 1: Concepto de “quantum warfare” Ref: quantum warfare definitions overview and challenges. Figure available via license: creative commons Attribution 4.0 International.

Computación cuántica

La computación cuántica es una de las capacidades futuras más prometedoras en el ámbito de la Defensa. La aplicación de la computación cuántica en el ámbito militar se puede concretar en las siguientes áreas:

- Simulación de sistemas físicos para el diseño de nuevos materiales, especialmente con técnicas de nanotecnología. Se suele apoyar en Inteligencia Artificial y ‘Machine Learning’ y una estructura de supercomputación.
- Resolución de problemas de optimización complejos en diversas áreas, tales como logística, cadena de suministro y en general modelización de sistemas de alta fidelidad.
- Aplicaciones ISR (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance), debido a su capacidad para acelerar el filtrado, la decodificación y correlación de imágenes complejas.

La hibridación de infraestructuras de supercomputación y computación cuántica es una de las capacidades más prometedoras en relación a aplicaciones en defensa donde haga falta simulación de

sistemas de alta fidelidad que contengan modelos a escala subatómica, que es donde la computación cuántica es más eficaz.

Posicionamiento, navegación y tiempo (PNT) Cuántico

La tecnología cuántica puede presentar mejoras significativas en aplicaciones PNT. La mayor precisión de los relojes cuánticos mejorará la navegación y base temporal de los sistemas militares, tales como los sistemas de defensa balística, etc.

También las técnicas de negación de posicionamiento por satélite debido a contramedidas tales como el ‘jamming’ o ‘spoofing’ hace necesario el desarrollo de sistemas inerciales de alta precisión, lo que permitirá una navegación mucho más precisa que la obtenida con los sistemas inerciales actuales. Estos sistemas consisten en un giróscopo cuántico, acelerómetros y relojes atómicos/cuánticos.

Existen varios casos de avances en la aplicación de las tecnologías cuánticas en navegación. El Reino Unido es líder en navegación cuántica mediante dos tecnologías clave: relojes atómicos ‘Ti-



Figura 2: Capacidades críticas del WP-EDR. Figure included in the White paper for European Defence Readiness 2030”; 21-03-2025.

qker’ y sistemas de navegación inercial cuántica basadas en átomos ultra-frío (Q-INS). La UK’s National Quantum Strategy pretende desplegar estos sistemas a bordo de aeronaves para el 2030.

También merece la pena destacar que, en 2024, la empresa BOEING efectuó el primer vuelo registrado con sensores cuánticos y sin GPS durante cuatro horas. La precisión del sistema permite reducir los errores de navegación en vuelos largos en aplicaciones comerciales y de defensa.

En 2025, Lockheed-Martin, Q.CTRL y AOSense desarrollaron un prototipo de Sistema de Navegación Inercial que utiliza sensorización cuántica para calcular posición, velocidad y actitud sin ninguna señal de hibridación externa, siendo por lo tanto un sistema de navegación inmune a las contramedidas.

LIDAR cuántico

El LIDAR (Light Detection and Ranging) cuántico introduce técnicas como la interferometría cuántica y el uso de fotones individuales o entrelazados que permiten mejorar la resolución de imágenes 3D en distintos entornos, incluido el submarino. Otras aplicaciones que se consideran de interés son las relacionadas con la iluminación de blancos a corta distancia, como por ejemplo en sistemas *anti-drone*.

Guerra electrónica

La Guerra electrónica puede beneficiarse de la computación cuántica en el

La computación cuántica es una de las capacidades futuras más prometedoras en el ámbito de la Defensa

análisis de señales RF complejas, especialmente donde sea necesario aplicar técnicas de optimización basadas en Inteligencia Artificial.

Las tecnologías cuánticas permiten una extraordinaria mejora en la sensibilidad de los sistemas detectores, como por ejemplo es el caso de las antenas. En relación con esto, las antenas basadas en 'átomos de Ryberg' pueden ofrecer la capacidad de interceptación de señales independientemente de su longitud de onda. Sus características principales son su alta sensibilidad y la capacidad de medición de un amplio rango de frecuencias (prácticamente todo el espectro EM).

Aplicaciones submarinas

Las aplicaciones submarinas de las tecnologías cuánticas están relacionadas sobre todo con la mejora de la precisión en la navegación y en la detección de submarinos.

Se puede decir que los sistemas inerciales cuánticos están en un nivel de maduración tecnológica de TRL (Technology Readiness Level) elevado⁴. La miniaturización de los sistemas inerciales cuánticos los hace además especialmente atractivos para otras aplicaciones, especialmente vehículos no tripulados, armas de precisión, etc.

Con relación a la detección de submarinos, los magnetómetros pueden detectar anomalías magnéticas inferiores a 0,1 pT que equivale a detectar un submarino a 10 Km. Los gradiómetros gravitacionales tienen también aplicaciones en detección de estructuras metálicas a distancias de interés operativo. Los drones con magnetómetros cuánticos para detectar submarinos son una realidad, según han comunicado recientemente las autoridades chinas⁵.

En relación con las aplicaciones cuánticas para navegación de submarinos, los magnetómetros cuánticos presentan una sensibilidad muy superior a los sistemas actuales. Estos sistemas, unidos a la disponibilidad de mapas de anomalías magnéticas de la tierra, tales

Estrategias y posicionamiento

OTAN

La OTAN da una enorme importancia a las tecnologías cuánticas en su estrategia tecnológica. El documento 'Quantum Technologies Strategy' publicado en 2024 muestra el camino a seguir para adoptar estas tecnologías.

La tabla adjunta muestra las áreas de interés de la OTAN en relación con las tecnologías cuánticas y sus aplicaciones en el DTL-Q (Deep Tech Lab-Quantum) son muchas. Algunas de ellas son: sensorización e imagen en la detección de submarinos; computación cuántica y algoritmos para la investigación de materiales; sistemas de navegación de inercia, y aplicaciones de doble uso para láseres cuánticos o simulaciones cuánticas.

Unión Europea

Existen distintas iniciativas financiadas con fondos EDF (European De-

fence Funds) de la Unión Europea, como por ejemplo los programas ADEQUADE y Q-Sing. El primero tiene por objeto avanzar en sensores cuánticos para posicionamiento, navegación, cronometría, detección cuántica de radiofrecuencia y detección óptica cuántica. El proyecto Q-SING pretende desarrollar un navegador robusto a perturbaciones con un rendimiento garantizado en términos de disponibilidad, continuidad y precisión.

Recientemente, la UE ha publicado sus intenciones para incrementar el alistamiento de la industria europea en relación con las tecnologías y la defensa en el documento 'White paper for European Defence Readiness', reconociendo que las tecnologías cuánticas son uno de los pilares sobre los que construir capacidades críticas.

Sensorización e Imagen	Detección submarina	Magnetómetros cuánticos y gravímetros para la vigilancia submarina.
	Imagen 3-D	Sensores para el mapeado de los entornos submarinos con aplicaciones en vigilancia y seguridad marítima.
	Sistemas de tiempo preciso	Relojes cuánticos para asegurar la sincronización en entornos de negación de señal GPS.
Criptografía cuántica	PQC	Transición de sistemas criptográficos OTAN a algorítmica resistente a amenazas cuánticas.
	QKD	Distribución cuántica de claves
Computación cuántica y algoritmos	Computación cuántica	Optimización, logística y analítica de datos
	Investigación en materiales	Ciencia de materiales
Navegación	Sistemas de navegación inercia	Giróscopos y acelerómetros cuánticos
Aplicaciones de doble uso	Láseres cuánticos	Láseres de alta capacidad para comunicaciones satelitales
	Simulación cuántica	Modelización de escenarios complejos tales como aerodinámica hipersónica o reacciones químicas complejas

Áreas de interés de la OTAN en relación con las tecnologías cuánticas y sus aplicaciones en el DTL-Q

como el del NOAA (US National Oceanic and Atmospheric Administration), permiten la navegación en casos de no disponibilidad de sistemas GNSS (Global Navigation Satellite System), como por ejemplo en navegaciones árticas.

También los magnetómetros y sistemas gravimétricos cuánticos pueden mapear la superficie del fondo en ciertas condiciones, lo que permite a los submarinos disponer de un mapa preciso sin necesidad de utilizar el sonar. ▀

Referencias

¹ FHE: https://en.wikipedia.org/wiki/Homomorphic_encryption#

² IoT: Internet of Things.

³ IoMT: Internet of Military Things.

⁴ Utility of Quantum Systems for the Air Force. USAF Scientific Advisory Board Study. 2015.

⁵ China's Quantum Drone Shocker: New Tech can detect stealth US Submarines (www.rudabaguet.com)

[1] Quantum Warfare: Definitions, Overview and Challenges Michal Krelina, Czech Republic. March 24, 202.

[2] Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa.

[3] NATO - Topic: Emerging and disruptive technologies.

[4] Introduction to Quantum Radar, Ricardo Gallego Torrom et al., Koper, Slovenia. Enero, 2021.



Natalia Chueca
Alcaldesa de Zaragoza

«Queremos ser un nodo clave en la infraestructura digital nacional y europea»

Zaragoza **está viviendo una auténtica transformación que la sitúa entre las ciudades más dinámicas y avanzadas de Europa** en innovación urbana, sostenibilidad y tecnología. Convertida ya en un referente en *Smart cities* y en la atracción de grandes inversiones tecnológicas, con empresas como Amazon Web Services, Microsoft o Blackstone-QTS, la capital aragonesa impulsa además proyectos propios como Zityverse, su ambiciosa hoja de ruta hacia la digitalización integral de la ciudad.

Un hito clave en esta trayectoria será la celebración en septiembre de V Congreso Nacional de Telecomunicaciones, organizado por el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT), que tendrá en Zaragoza su sede y convertirá a la ciudad en escaparate nacional e internacional para el sector.

Al frente de este impulso está Natalia Chueca Muñoz, alcaldesa de Zaragoza desde junio de 2023. Con una sólida trayectoria en innovación y gestión estratégica, Chueca ha trasladado a la gestión municipal una visión claramente orientada al futuro: eficiencia tecnológica, movilidad sostenible, formación en nuevas competencias -incluyendo talento sénior-, y un modelo de colaboración público-privada que ha convertido a Zaragoza en una ciudad de oportunidades.

Zaragoza se está transformando en un referente tecnológico y urbano a nivel nacional y europeo. ¿Qué visión tiene

Zaragoza como ciudad de futuro, y cómo se integran las inversiones tecnológicas en un modelo urbano más eficiente, conectado y sostenible?

Zaragoza ya es un referente europeo en innovación y sostenibilidad por las políticas que este Gobierno viene desarrollando en movilidad, en *Smart cities* y en la optimización de los servicios públicos, aplicando criterios medioambientales e Inteligencia Artificial.

Zaragoza es referente en descarbonización gracias a la ambiciosa apuesta en la que llevamos cuatro años inmersos

de sustitución de la flota de autobuses de combustibles fósiles por vehículos 100% eléctricos. Pero también por la potente operación de rehabilitación de vivienda antigua que estamos impulsando en colaboración con los propietarios individuales para hacer los edificios más eficientes (revistiendo fachadas, sustituyendo ventanas, etc.). Sólo este año se han impulsado más de 22 millones de euros en ayudas para este fin, para incentivar a los propietarios. Y la fórmula funciona: se agotan las ayudas y eso significa que se ejecutan los proyectos.



Nuestra ordenanza *sandbox* permite a las empresas testar su tecnología en todo el casco urbano



“

Zityverse es un proyecto transversal en el que vamos a invertir 70 millones de euros de aquí a 2030

Tenemos un plan de energía que estamos ejecutando y que prevé la dotación de placas solares en las cubiertas municipales para lograr el autoconsumo y generar pequeñas comunidades energéticas en algunos puntos.

También estamos reverdeciendo la ciudad con el Bosque de los Zaragozanos y colocando zonas verdes y nuevos árboles en las calles que reformamos y que antes sólo eran asfalto... Nuestra política en gestión de residuos y eco-

nomía circular es impecable: Zaragoza lidera la transformación recuperando un 52% de los desechos que generamos. Esto no pasa desapercibido en Europa.

¿Qué representa para Zaragoza acoger el V Congreso Nacional de Telecomunicaciones organizado por el COIT y cómo espera el Ayuntamiento que este evento impulse la proyección tecnológica de la ciudad?

Ser sede del V Congreso Nacional de Telecomunicaciones posiciona a Zaragoza como epicentro nacional en

innovación digital, visibilizando nuestro potencial tecnológico y atrayendo talento y nuevas inversiones. Desde el Ayuntamiento esperamos que este evento sirva para fortalecer alianzas estratégicas que ya existen con empresas y administraciones, proyectando Zaragoza como laboratorio urbano de referencia en telecomunicaciones y conectividad.

Nuestra ordenanza *sandbox* es especialmente importante y está despertando interés, porque permite a las empresas testar su tecnología en todo el casco urbano de la ciudad. Zaragoza es la ciudad donde se realizan pruebas controladas con drones vinculadas al 'vertipuerto' que impulsamos, donde han circulado en pruebas tranvías y buses con tecnología para la conducción autónoma, donde hemos visto carritos autónomos de entrega de *deliveries* para los comercios... Zaragoza es la ciudad que las grandes empresas tecnológicas googlean hoy.

¿Qué tecnologías clave se están desplegando en el marco del proyecto Zityverse y cómo mejorarán la calidad de vida y la eficiencia de la ciudad en los próximos años?

Es un proyecto transversal en el que vamos a invertir 70 millones de euros de aquí a 2030. En algunos proyectos concretos ya estamos avanzando: pronto presentaremos el primer asistente virtual de la ciudad, además de las cuantías que sean necesarias para formación; disponemos ya de un gemelo digital que ha creado un mapa de vulnerabilidad con 50 indicadores (el más completo de España) para ayudar en la toma de decisiones técnicas, y estamos en la fase de recopilar información en la zona del casco urbano para generar base de datos con la que crear un nuevo gemelo digital en ese distrito.

En paralelo, estamos impulsando la sensorización de barrancos y de la red de infraestructuras de agua para que nos detecte riesgos, y hemos sensorizado los contenedores de basura para conocer en tiempo real el estado del



Nos hemos marcado como objetivo reducir la brecha de la IA entre la población para que Zaragoza tenga profesionales cualificados

contenedor para optimizar la ruta de los camiones de recogida, ahorrando tiempo a los operarios eludiendo contenedores que no están lo suficientemente llenos.

Estas tecnologías permitirán monitorizar servicios urbanos en tiempo real, optimizar la movilidad, reducir la huella de carbono y mejorar sustancialmente la eficiencia energética y operativa, haciendo de Zaragoza una ciudad más habitable y sostenible en los próximos años.

¿Qué iniciativas se están impulsando para posicionar Zaragoza como un polo atractivo para el talento tecnológico, incluyendo perfiles sénior? ¿Qué papel tiene la Universidad de Zaragoza en esta estrategia?

Estamos desarrollando programas específicos en el centro de Arte y Tecnología Etopia, con cursos y formación impartida por los mejores profesionales. Desde el Ayuntamiento, tenemos claro que quien no se recicle y actualice sus habilidades con formación en IA tendrá serias dificultades para encontrar un trabajo.

De ahí que nos hayamos marcado como objetivo reducir la brecha de la IA entre la población para que Zaragoza tenga profesionales cualificados que den respuesta a la demanda de las empresas que están llegando y están invirtiendo en Zaragoza (empresas vinculadas al dato).

La Universidad de Zaragoza es crucial, pues colabora en proyectos conjuntos

de investigación aplicada, oferta formativa adaptada a las necesidades empresariales y facilita la transferencia de conocimiento desde el ámbito académico al empresarial.

¿Qué acciones se están desarrollando para generar más vocaciones tecnológicas entre los jóvenes zaragozanos y cómo se articula la colaboración con la universidad y centros educativos?

Desde el Ayuntamiento impulsamos iniciativas dentro de Etopia. Apostamos por la formación STEAM en colegios e institutos, e incentivamos los cursos y los concursos tecnológicos para estudiantes (Hackaton de The Wave) y campamentos formativos en robótica, programación y realidad aumentada. Estas acciones se articulan en estrecha colaboración con centros educativos locales para garantizar un enfoque integral y sostenible en la generación de vocaciones STEAM.

¿Qué papel cree que debe jugar Zaragoza en el desarrollo de la infraestructura digital a nivel nacional y europeo?

Zaragoza quiere ser un nodo clave en la infraestructura digital nacional y europea. Apostamos por un papel activo en la interconexión digital, desarrollando infraestructuras avanzadas de telecomunicaciones, centros de datos sostenibles y puntos de intercambio de información estratégica que conviertan a Zaragoza en un *hub* tecnológico europeo. Nos avalan las empresas multinacionales que están llegando, como AWS, Microsoft, etc.

“

Apostamos por la formación STEAM en colegios e institutos, e incentivamos cursos y los concursos tecnológicos para estudiantes



¿Cómo ves la evolución de la colaboración público-privada en la transformación digital y qué oportunidades abre esto para la ciudad?

La colaboración público-privada ha evolucionado significativamente, consolidando Zaragoza como un entorno atractivo y seguro para la inversión tecnológica gracias a múltiples factores como una fiscalidad atractiva, seguridad política, energías renovables que pueden incidir positivamente en la cuenta de resultados...

Estas sinergias permiten la implementación ágil y efectiva de proyectos innovadores, aumentando el atractivo económico de Zaragoza y generando oportunidades concretas de desarrollo económico, social y tecnológico. El mejor ejemplo son los datos: más de 40.000 millones de inversiones comprometidas de empresas privadas en Zaragoza y su entorno metropolitano. Son empresas como Xior, que vienen a invertir en el antiguo cuartel de Pontoneros para convertirlo en una residencia universitaria, y muchos ejemplos más. Zaragoza es vista ya como la ciudad de las oportunidades para venir a invertir, trabajar y hacer negocio.

¿De qué manera la innovación tecnológica y la digitalización está contribuyendo al cumplimiento de la Misión de la UE “100 ciudades climáticamente neutras” para 2030, de la que Zaragoza forma parte?

La digitalización es clave en nuestra estrategia climática, facilitando la monitorización en tiempo real de emisiones, detectando fugas de agua, optimizando el uso energético de edificios y de infraestructuras públicas, e impulsando soluciones innovadoras para la movilidad sostenible como la implantación del servicio de bici eléctrica o la sustitución de la flota de autobuses. La innovación tecnológica es, sin duda, el eje vertebrador de nuestra hoja de ruta hacia la neutralidad climática para 2030.

En los últimos años Zaragoza ha despuntado por su avanzada gestión del agua y de los espacios

verdes ¿qué proyectos destacaría en este sentido y cómo les está ayudando la digitalización y las nuevas tecnologías en su implantación?

Destacan proyectos como la telegestión avanzada del riego en parques y jardines, y la digitalización del ciclo integral del agua mediante sensores IoT y plataformas analíticas, lo que permite una gestión más eficiente y sostenible de estos recursos esenciales, reduciendo costes y optimizando el uso del agua.

¿Qué medidas ha tomado el Ayuntamiento para atraer inversiones tecnológicas como las de Amazon o Microsoft, y qué impacto espera que tengan estas infraestructuras digitales en el desarrollo económico y social de Zaragoza?

Desde el Ayuntamiento hemos impulsado medidas como la ordenanza *sandbox* para facilitar la experimentación tecnológica, bonificaciones fiscales específicas y una oficina dedicada a agilizar trámites administrativos. Estas acciones han permitido captar inversiones estratégicas como las de Amazon o Microsoft, cuyo impacto será crucial para dinamizar la economía local, generar empleo cualificado y posicionar internacionalmente a Zaragoza como ciudad innovadora.

Zaragoza se está consolidando como un hub estratégico para centros de datos. ¿Qué repercusiones está teniendo este fenómeno en el desarrollo económico, tecnológico y social de la ciudad?

Zaragoza es una ciudad que hoy mira de

frente a Google, Microsoft o Meta. Hace apenas dos semanas tuve la oportunidad de reunirme con estas tres compañías en Silicon Valley, en el corazón de la innovación tecnológica mundial.

En ese encuentro, el vicepresidente de Google, Chris Turner, definió a Zaragoza como la ciudad global con más visión en la aplicación de la IA. Y eso no es fruto de la casualidad, sino del trabajo conjunto entre el sector público y privado, y de una apuesta decidida por convertir nuestra ciudad en un referente europeo en innovación y tecnología al servicio de las personas.

La consolidación de Zaragoza como *hub* estratégico de centros de datos está teniendo un enorme impacto en el desarrollo económico, tecnológico y social de nuestra ciudad. En lo económico, estamos atrayendo inversión de altísimo valor añadido, generando empleo cualificado y diversificando el tejido productivo.

En lo tecnológico, Zaragoza se posiciona como epicentro de infraestructuras digitales críticas para el futuro de Europa, lo que nos permite formar parte de la nueva economía del dato y la inteligencia artificial.

Pero quizás el mayor reto —y también nuestro mayor compromiso— es que esta transformación no deje a nadie atrás. Zaragoza no sólo quiere ser una ciudad donde se instalen centros de datos. Queremos ser una ciudad donde la IA mejore la vida diaria de las personas, donde la tecnología tenga rostro humano y donde la innovación signifique progreso inclusivo. Y vamos por buen camino. ▴



La colaboración público-privada ha evolucionado significativamente, consolidando Zaragoza como un entorno atractivo y seguro para la inversión tecnológica





PABLO PÉREZ GARCÍA.

Ingeniero de Telecomunicación. Lead Scientist en Nokia XRLab.



ÁLVARO VILLEGAS NÚÑEZ.

Ingeniero de Telecomunicación. Director de Nokia XRLab.



MARTA ORDUNA CORTILLAS.

Ingeniera de Telecomunicación. Investigadora y coordinadora técnica de INCLUVERSO 5G. Miembro del Grupo de Trabajo de Jóvenes del COIT.



Cómo demostrar que el Realverso puede mejorar la vida real de las personas

En octubre de 2021, Mark Zuckerberg presentó la nueva estrategia para su empresa, que pasó de llamarse Facebook a Meta. Aquella presentación orbitaba en torno al concepto de Metaverso: **un espacio digital donde las personas podrían reunirse, hablar e interactuar representadas por avatares personalizables**. Esta visión impulsó la investigación sobre el uso de tecnologías inmersivas en ámbitos personales, sociales y profesionales.

Con perspectiva, el Metaverso parece haber sido la última fiebre de las tecnologías de Realidad eXtendida (XR). Su potencial es evidente, pero nunca llegó a materializarse. No ha sido la primera vez que la realidad virtual o la realidad mixta se presentan como la pantalla que reemplazará a los dispositivos personales, primero ordenadores y luego móviles. La llegada de las Oculus Rift DK1 en 2013 ya anticipaba esta posibilidad.

En 2017, en mitad de esa ola, Nokia decidió abrir un centro de investigación en Madrid, dentro de los Laboratorios Bell, para explorar la transmisión extremo a extremo de contenidos de realidad virtual y aumentada. Ya se contemplaba que el vídeo inmersivo, producido profesionalmente, podría convertirse en el nuevo formato de entretenimiento, como mostraba la cámara 360 de alta gama OZO de Nokia.

Al diseñar la estrategia de investigación para nuestro Grupo del laboratorio de realidad extendida de Nokia, decidimos enfocarnos en cómo las tecnologías XR pueden conectar a las personas, convirtiéndolas en un medio de comunicación humano. Nuestro objetivo es que, al ponerte unas gafas de realidad virtual puedas teletransportarte a otro lugar y relacionarte con personas allí presentes, con la sensación de estar realmente en ese entorno. Para una experiencia más realista es esencial ver también tu propio cuerpo y algunos objetos de tu entorno integrados en la experiencia inmersiva.

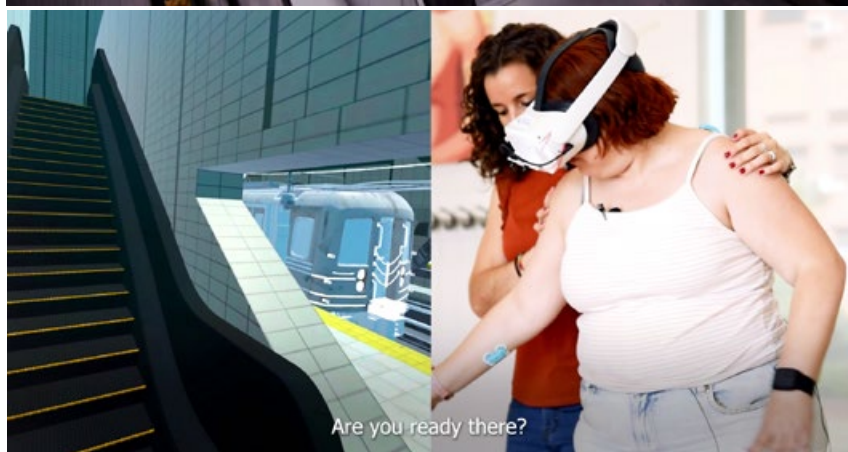
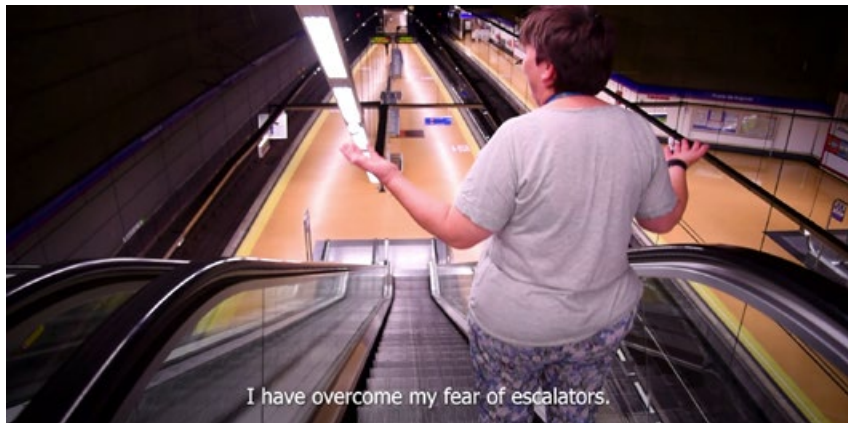
A esta nueva realidad, compuesta por fragmentos del mundo físico capturados y transmitidos en tiempo real, la denominamos Realidad Distribuida. Y al uso de esta tecnología para visitar otros lugares reales y conectar con personas reales, lo llamamos Realverso. El núcleo de nuestra investigación es el Realverso, mientras que la Realidad Distribuida es el concepto que lo hace posible.

En el camino hacia su implementación, hemos desarrollado prototipos basados en tecnología inmersiva. Entre ellos, destaca Snowl, un prototipo con vídeo 360 combinado con tecnología que permite ver tu propio cuerpo en tiempo real, capturado con una cámara egocéntrica integrada en las gafas.

Siempre hemos evaluado estos avances con potenciales usuarios. Sin embargo, hemos identificado un patrón: aunque las personas que prueban la tecnología quedan impresionadas (el llamado efecto *Wow*), cuando intentamos integrarla en su día a día encontramos resistencia o rechazo.

Esta barrera es clave para entender por qué la tecnología XR aún no ha logrado una adopción masiva. A nivel técnico, los dispositivos actuales son extraordinarios. Las Apple Vision Pro, por ejemplo, son muy superiores al primer iPhone. Sin embargo, su adopción no ha cumplido expectativas. ¿Por qué? Detectamos dos razones principales.

Primero, el efecto *Wow* dificulta que los desarrolladores reciban críticas cons-



tructurativas que orienten el desarrollo futuro. En segundo lugar, se trata de una tecnología orientada a usuarios tecnológicamente avanzados que requiere una curva de aprendizaje elevada para su adopción generalizada.

Para afrontar estos desafíos, en 2021 reorientamos nuestra estrategia: decidimos adoptar un enfoque de diseño inclusivo. Comenzamos a colaborar con la Fundación Juan XXIII Roncalli, dedicada a la inclusión sociolaboral de personas en situación de vulnerabilidad psicosocial, e iniciamos un nuevo enfoque en nuestro desarrollo.

Diseñamos la tecnología de modo que sea accesible desde el principio, permitiendo su uso por personas con discapacidad intelectual. Esta estrategia nos obliga a simplificar las aplicaciones y sus interfaces, lo que nos permite detectar de forma rápida las dificultades que surgirán en el uso cotidiano. Además, la transparencia de los usuarios en sus comentarios es clave para mejorar los desarrollos.

De esta visión nace el proyecto Inlucverso 5G, con tres objetivos claros:

- Desarrollar una tecnología XR que resuelva problemas reales de la sociedad.
- Que esta tecnología sea accesible y fácil de usar.
- Que su aceptación no deje a nadie fuera.

Hemos elegido tres casos de uso, propuestos por la Fundación Juan XXIII Roncalli, que son estratégicos para nuestro desarrollo:

1. Terapia conductual para la desensibilización sistemática (mitigación de fobias)

El primer caso aborda la mitigación de fobias, concretamente la fobia a las escaleras. La XR permite una mayor aceptación de la intervención, proporciona sensación de seguridad (al tratarse de una simulación) y ofrece al terapeuta un mayor control del entorno. Además, supera problemas como la dificultad para imaginar la situación o la falta de generalización a la realidad.

Con la perspectiva que da una cierta distancia, parece que el Metaverso **no fue más que la última fiebre de las tecnologías de Realidad eXtendida (XR)**

Este entorno nos permite evaluar los espacios inmersivos, los algoritmos de segmentación para visualizar el cuerpo en tiempo real y las condiciones de red y latencia. La monitorización con biosensores ayuda a optimizar las sesiones.

Los resultados son muy prometedores. El día que una paciente enfrentó las escaleras en la vida real tras la terapia confirmó su éxito: “Subir y bajar las escaleras sola me ayuda a tener confianza en mí misma y saber que puedo hacerlo”. La terapeuta Ainhoa Fernández añadía: “Ha sido tan gratificante que me gustaría aplicarlo a otros miedos”.

2. Fomento de la autonomía en pisos tutelados

El segundo caso busca potenciar la autonomía con XR. Los pisos tutelados ofrecen convivencia con apoyo adaptado, pero su alcance es limitado. La posibilidad de ofrecer un apoyo remoto de calidad reduciría costes y recursos.

Aquí, Snowl vuelve a ser clave. Lo hemos probado durante seis meses como herramienta de asistencia en tareas cotidianas, como cocinar o usar electrodomésticos. Un residente resumía así su utilidad: “Te ve cómo cocinas para que en un futuro cocinemos solos”. El profesional de apoyo Nacho Moratinos comentaba: “Me aporta la posibilidad de estar presente, mientras que ellos no se sienten solos ni desprotegidos. Me visualizan como un avatar que repite mis movimientos y les permite sentirse más autónomos”.

Gracias a este feedback, hemos mejorado la conectividad, la calidad del vídeo, la interfaz y añadido herramientas que enriquecen la experiencia y la hacen más realista. Estas mejoras también serán valiosas en otros entornos de supervisión.

3. XR en teleformación y certificaciones profesionales

El tercer caso explora la XR en teleformación. La idea es evaluar su uso en certificaciones profesionales que mejoren la empleabilidad de personas con discapacidad intelectual.

Las gafas de realidad virtual permiten a los estudiantes experimentar entornos a los que no pueden acceder fácilmente (por ser peligrosos, costosos o con aforo limitado). Nuestra tecnología combina mundo real y virtual, permitiendo que los estudiantes interactúen con sus manos, herramientas y objetos reales enriquecidos visualmente.

Esto evita el uso de controladores o mandos que pueden dificultar la inmersión y el aprendizaje. El enfoque se está evaluando actualmente en un curso de cuatro meses sobre operaciones básicas de pastelería y cocina.

Conclusión

En el laboratorio de Realidad Extendida de Nokia, estamos orgullosos de aplicar nuestras tecnologías a un campo profundamente humano: la comunicación entre personas. Aunque el Metaverso como tal se ha desinflado, ha contribuido a popularizar las tecnologías inmersivas. Nuestro reto es demostrar que estas tecnologías pueden mejorar la vida real de las personas, no en mundos virtuales, sino en nuestro mundo, con quienes amamos y con quienes trabajamos.

Estamos convencidos de que la Realidad Distribuida será la base de una nueva generación de sistemas de telecomunicación. Gracias a nuestra capacidad de desarrollo e implementación, ya hemos demostrado su utilidad práctica. Bienvenidos al Realverso. ▀



IGNACIO CASILLAS GONZÁLEZ.

Ingeniero de Telecomunicación. Gerente de Tecnodomo Ingeniería S.L.

¿Qué define realmente a un edificio inteligente?

Cuando oímos hablar de edificios inteligentes, a menudo surgen dos escenarios recurrentes. Por un lado, presentaciones comerciales que destacan los dispositivos de última generación de los fabricantes. Por otro, representaciones dignas de la ciencia ficción. Pero ¿qué define realmente a un edificio inteligente? Este artículo busca **responder a esa pregunta en presente, mostrando lo que ya es realidad hoy.**

Comencemos por analizar algunos conceptos. El término 'edificio' procede del latín *aedificium*, una construcción generalmente colectiva y pública. En contraposición, tenemos el término *domus*, una construcción residencial y privada. La terminología al uso en el sector es hablar de domótica cuando nos referimos a automatización de viviendas y de inmótica cuando hablamos de edificios de uso terciario (hoteles, hospitales, colegios, oficinas, comercio...). La inmótica sería pues la domótica de los inmuebles.

Pero tampoco hay consenso en el uso de estas palabras. Porque ¿dónde está la frontera? Quizás en la complejidad, pero ¿una gran construcción de viviendas no puede ser más compleja que otra de terciario? ¿Y una urbanización completa? ¿Y dónde quedan las construcciones industriales, que no son vivienda ni terciario? Ciertamente, la frontera es difusa y únicamente académica.

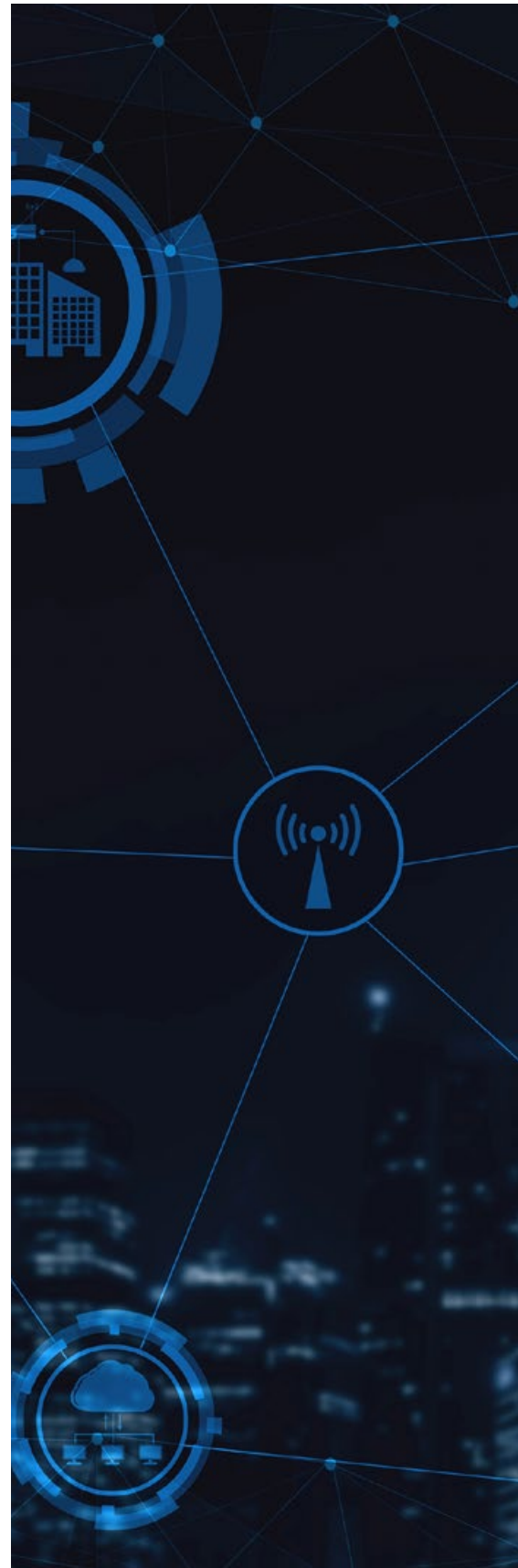
Hablemos de sistemas

Un edificio inteligente mide, supervisa y controla sus funciones de manera automática. Actúa como un sistema nervioso, conectando dispositivos entre sí, con otros sistemas internos y externos, y con el usuario. Decimos que mide, recibe y guarda información de acuerdo con las directrices programadas (lógica, reglas, algoritmos) y a las órdenes del usuario sobre las distintas funciones que controla.

Pero ¿qué se mide, supervisa y controla exactamente?:

- En las instalaciones de **climatización** (HVAC: *heating, ventilation and air conditioning*) y ACS (agua caliente sanitaria) se miden temperaturas, humedades, calidades del aire, flujos de energía, de agua y aire, niveles en tanques, estado de dispositivos, etc. Se controlan los grupos de generación de calor y frío, y la venti-

Un edificio inteligente mide, supervisa y controla sus funciones de manera automática, conectando dispositivos entre sí, con otros sistemas internos y externos, y con el usuario





lación, pero también su distribución y la gestión de la demanda zonificada. Se modifican consignas de las zonas, se aplican programaciones horarias, actuando sobre válvulas, ventiladores y bombas.

- En la **instalación eléctrica** se mide y actúa con el nivel de capilaridad que se desee, desde los cuadros generales pasando por los secundarios y sus diversos circuitos hasta llegar a cada uno de los encendidos o consumidores. Se miden consumos, horas de funcionamiento, estado en tiempo real, etc.
- En **iluminación** algunos sistemas permiten llegar al nivel de cada luminaria. En las zonas con iluminación natural se miden sus niveles y se regula en consecuencia la iluminación artificial.
- Se miden los **consumos energéticos**. Por ejemplo, en un edificio con inquilinos se mide su consumo particular para facturar por uso, o en un edificio de propiedad única para supervisar los distintos subsistemas.
- Se mide la **seguridad del edificio**, desde la seguridad técnica con sondas de inundación, sensores de incendio o gases, medidas de nivel, alarmas de caída de tensión, errores y avisos de las máquinas de climatización, hasta la seguridad física o el control de accesos. Se reciben avisos y alarmas de los subsistemas, mostrándolos en las interfaces y enviando notificaciones a los encargados.
- También se supervisa la producción de **energía local**, sean instalaciones de energías renovables (fotovoltaica, solar térmica, etc.), de cogeneración o de respaldo (por ejemplo, antes apagones, bajada de protecciones en cuadros o emergencias).
- En ocasiones se controla incluso la **envolvente del edificio**, con sus sistemas de oscurecimiento (persianas, lamas o toldos), de iluminación natural (lucernarios) o de ventilación natural (atrios, ventanas...).

El edificio se adapta a la altura del sol en cada momento del año y del día, a la temperatura exterior y a las condiciones de luminosidad, lluvia, viento y calidad del aire exterior.

- Lógicamente, también se adapta al uso que las personas hacen del edificio, en función de la ocupación, la presencia y los horarios.

Con esta enumeración queda claro que una de las claves de estos sistemas es que actúan como integradores, ofreciendo una visión única para una gestión completa del edificio. Además, se pueden unir con sistemas mayores de ciudades inteligentes o de gestión de una compañía con múltiples ubicaciones.

Gestión y control de los servicios

- El primero de los servicios sería la gestión integrada, que oculta la complejidad de las instalaciones y la propia tecnología en la que se apoya. Las interfaces del sistema muestran de manera esquemática y gráfica el estado del edificio y permiten actuar de forma directa sobre el mismo. Se denominan sistemas de gestión de edificios o BMS (del inglés *building management systems*).
- Las **interfaces** pueden ser locales o remotas -apoyándose en las telecomunicaciones- y ser soportadas por diversidad de dispositivos. Pueden ofrecer distintas vistas del mismo sistema filtrando la información necesaria para cada perfil (de usuarios, operación, mantenimiento, gestión, dirección, etc.).
- Otro servicio esencial es la **eficiencia energética**, gestionando la demanda de energía. Las comparativas y estadísticas sobre los datos ayudan a detectar patrones de consumo y desviaciones. También es muy útil comprobar el efecto de los cambios, como el de una máquina consumidora, las renovaciones de la iluminación, la implantación de renovables o la mejora de aislamientos, entre otros ejemplos.

- Se puede realizar una **gestión activa de la demanda energética**, detectando picos de consumo y actuando en consecuencia, difiriendo cargas no críticas o repartiendo la potencia disponible a lo largo del tiempo.

- La información recopilada **facilita el mantenimiento**, informando del número de horas de funcionamiento o del número de activaciones de los dispositivos. Las alarmas permiten detectar anomalías y actuar de manera rápida para reducir daños. E igualmente, se pueden trazar problemas a posteriori.

Todos estos servicios mejoran la gestión y reducen los costes, aumentan la seguridad y la calidad de vida de las personas que habitan en ellos, minimizan las averías y mejoran su disponibilidad.

Estos sistemas existen hoy, con tecnologías probadas. En el caso de los sistemas abiertos, hablamos de KNX como estándar de origen europeo; BacNet en algunas máquinas de climatización; Lonworks como estándar de facto en EUA; DALI en iluminación, y ModBus en contadores o inversores de fotovoltaica. Estos sistemas pueden interactuar entre sí por medio de pasarelas y van evolucionando con conectividad IP, mejoras en la seguridad como KNX Secure, inclusión de dispositivos IoT, etc. Además de los abiertos existen también sistemas propietarios (donde la tecnología y a menudo también la fabricación es de un único fabricante) que resuelven el mismo problema.

Cumplimiento normativo

Estos sistemas permiten el cumplimiento normativo y legal, que en España está principalmente expresado en el CTE, Código Técnico de la Edificación. Estas son las secciones más relevantes:

1. Documento Básico HE sobre ahorro de energía:

- HE2 o RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios): obliga a las instalaciones térmicas a estar equipadas con sistemas de regulación y control que ajusten los consumos de energía a las variaciones de la demanda térmica y permitir la interrupción del servicio. También sistemas

Estos sistemas permiten el cumplimiento normativo y legal, que en España está principalmente expresado en el Código Técnico de la Edificación



Imagen del control de climatización en un hotel. Fuente: Tecnodomo Ingeniería S.L.



Imagen del control de una planta en un hotel. Fuente: Tecnodomo Ingeniería S.L.

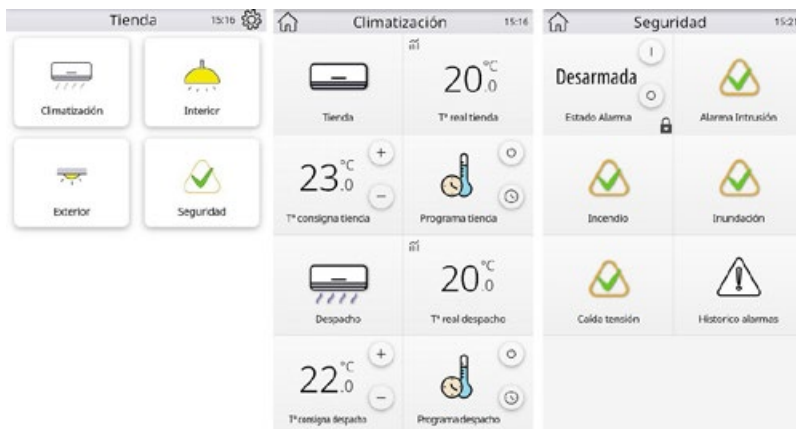


Imagen de interfaces de app de tienda. Fuente: Tecnodomo Ingeniería S.L.

de contabilización para repartir los gastos en instalaciones compartidas. Igualmente obliga a la limitación de consignas (temperatura y humedad) en edificios de terciario, así como a disponer de sistemas de información al público (visualización de los datos de temperatura y humedad en el interior de edificios de superficie mayor de 1.000 metros cuadrados).

- HE3: eficiencia energética de las instalaciones de iluminación. Requiere sistemas de control que ajusten el encendido de la iluminación a la ocupación real de las zonas y optimicen el uso de la luz natural. Esto incluye sensores y actuadores que regulan automáticamente la iluminación artificial.
- HE5: generación mínima de energía eléctrica. La producción local de energía eléctrica puede ser monitorizada y gestionada mediante sistemas de control integrados.

2. Documento Básico HS sobre salubridad

- HS3: calidad del aire interior. Exige sistemas de ventilación que garanticen una adecuada calidad del aire interior. Los edificios inteligentes cumplen este requisito mediante sensores que miden niveles de CO₂, humedad y otros parámetros, ajustando automáticamente la ventilación.

Redefinir la construcción

Los sistemas de control inteligentes, el aprovechamiento de energías renovables y el cumplimiento normativo no son sólo avances aislados, sino parte de un cambio de paradigma que está redefiniendo la construcción. Los edificios inteligentes han dejado de ser visiones futuristas para convertirse en una realidad concreta y llena de posibilidades, transformando la forma en que interactuamos con el entorno construido.

En el mundo de los edificios inteligentes, los Ingenieros de Telecomunicación desempeñan un papel clave, aportando experiencia en conectar los sistemas, los dispositivos y a las personas con los edificios en los que habitan. Así se logra que la tecnología esté integrada en nuestra vida diaria. ▀



LOLA SAMBLAS GALDÓN.
Ingeniera de Telecomunicación.



Lo que el tiempo no borra: reivindicando la **experiencia** **senior como motor del presente**

Hace unos meses comí con un antiguo compañero que atraviesa un momento difícil: tiene un cáncer metastásico y sabe lo efímera que es la vida. Aun así, aquella comida no fue triste. **Nos habló con entusiasmo de su gran pasión desde que se jubiló, tras una brillante carrera en informática: bailar tangos con su mujer.**

Nos contó una anécdota ocurrida en Benidorm en una 'milonga', que es donde los amantes del tango se reúnen para disfrutar de su afición compartida. En una tanda, reparó en una mujer que, pese a su elegancia, había intentado sin éxito encontrar pareja para bailar a través del rito del cabeceo. Su cabello canoso y su rostro curtido no llamaban la atención en una sala donde todos buscaban juventud.

Mi amigo, cuando ella la miró, aceptó su invitación a bailar.

En el primer tango, la conexión fue mágica. Al terminar, ella se presentó: "Me llamo Lina, soy argentina". En el segundo, todo continuó fluyendo en perfecta armonía. Al acabar, le confesó: "He sido bailarina de tango profesional toda mi vida". En el tercero, quedaron solos en la pista. Su interpretación fue tan intensa que la

sala rompió en aplausos. Lina le susurró: "Fui bailarina del Teatro Colón de Buenos Aires y de la compañía Tango Pasión. Gracias por aceptar mi invitación". No volvió a bailar con ella, pues se convirtió en la más solicitada de la noche.

Al escucharle, pensé en cuántas Linas hay en las empresas: invisibles por el paso del tiempo, con talento y formación inmensos, esperando una oportunidad.

Debemos reinventar la profesión para no diluarnos en un mundo donde casi cualquier disciplina se apellida ‘ingeniería’ para ganar clientes

Edadismo

Los tiempos de reorganización que comenzaron este verano en mi departamento me animaron a participar en el programa de reinversión profesional Talento50+. Ha sido una experiencia renovadora. Al finalizar las clases, en el llamado tercer tiempo, los participantes compartimos lo que muchos estábamos experimentando: sentíamos que habíamos dejado de ser ‘senior’ para empezar a ser ‘mayores’. Nadie nos había preguntado, pero sentíamos que la mirada externa había comenzado a vernos como piezas prescindibles. Un cambio sutil, pero profundamente transformador. Cambia cómo te miran, las oportunidades que llegan o dejan de llegar... incluso cómo te miras tú misma.

Ese fenómeno tiene nombre: edadismo. No es anecdótico ni individual. Es estructural. Aunque ha pasado inadvertido por años, está ya identificado. Según un informe de las Naciones Unidas, una de cada dos personas en el mundo tiene actitudes edadistas y en el mismo se pide actuar con rapidez para frenar esta realidad.

En ingeniería, este fenómeno es aún más llamativo. Una profesión que se basa en la experiencia, la visión a largo plazo y el pensamiento estratégico parece haber sucumbido al culto de la apariencia y lo inmediato. Como si la innovación tuviera edad. Como si décadas de experiencia devaluaran el conocimiento.

Una respuesta colectiva

Frente a esto, necesitamos dar una respuesta colectiva, y esta empieza con una palabra: comunidad. Estar unidos no es sólo una cuestión emocional: es una estrategia. Volver simbólicamente

a la ‘Escuela’ ha sido para nosotros, el grupo Talento50+, reencontrarnos con ese lugar donde nos comprendemos sin palabras. Sentirnos parte de un grupo que afronta la vida de forma similar, no para mirar con nostalgia lo que fuimos, sino para construir un presente donde el valor de nuestra trayectoria vuelva a tener sentido.

Ahora más que nunca, los Ingenieros de Telecomunicación necesitamos encontrarnos. Escucharnos. Compartir experiencias, saberes, estrategias. Crear redes de apoyo y colaboración. Sentir que no estamos solos en este tránsito. Y ahí, los colegios y asociaciones profesionales tienen un papel esencial.

Durante años, muchos no vimos necesidad de colegiarnos. Veníamos de una etapa dorada: ser teleco era garantía de calidad, lo que nos abrió puertas en el mundo laboral y permitió construir carreras estables. Para algunos, la colegiación fue un gesto romántico tras acabar la carrera. Otros ni siquiera lo consideraron: se han sentido más vinculados a redes de antiguos alumnos de Escuelas de Negocios que a la que de forma natural debería haber sido nuestra casa.

Hoy, más que nunca, los colegios tienen la responsabilidad y la oportunidad de ser espacios vivos. No sólo guardianes de la deontología profesional, sino impulsores de vínculos, oportunidades y nuevas narrativas. Debemos reinventar la profesión para no diluarnos en un mundo donde casi cualquier disciplina se apellida ‘ingeniería’ para ganar clientes.

El futuro del trabajo y de la ingeniería no puede construirse excluyendo a quienes ya hemos demostrado nuestra valía. Frente a la sociedad del descarte, debemos actuar colectivamente, con un propósito común. Ese reconocimiento no vendrá de fuera. Tenemos que construirlo desde dentro, empezando a pensar en nuestra profesión más allá de nuestro trabajo, exponiéndonos y generando impacto.

Un Colegio puede ser ese lugar donde redescubrimos nuestro propósito, donde surja una nueva motivación para reinventarnos, donde se genere mentoría intergeneracional: experiencia al servicio de los que empiezan, que también sufren el edadismo. Puede ser el altavoz colectivo para denunciar políticas injustas y proponer modelos inclusivos. Puede ser el motor que convierte la vulnerabilidad en potencia.

Con esta vocación nace el grupo de trabajo Talento50+. Es un espacio de encuentro, reflexión y activismo. Un lugar para visibilizarnos, apoyarnos y contribuir con propuestas concretas a empresas, administraciones y a la sociedad en general. Es el sitio para poner en valor la experiencia senior en el sector tecnológico y para seguir construyendo una profesión con un plan de acción claro a corto plazo en torno a cinco líneas estratégicas: radiografía del entorno profesional senior; *networking* con propósito; contenido de impacto; *mentoring* senior, y crear comunidad.

Así como en la milonga donde Lina volvió a brillar, nosotros también podemos transformar nuestra vulnerabilidad actual en una fuente de poder. Porque el edadismo no sólo margina personas. También empobrece sectores. Desperdicia talento. Rompe la continuidad del conocimiento. Y eso, a medio plazo, es una pérdida que ninguna sociedad puede permitirse. Todos tenemos un tango que bailar y en la pista del baile nunca es tarde para dar un buen paso. ▀

El futuro del trabajo y de la ingeniería no puede construirse excluyendo a quienes ya hemos demostrado nuestra valía

SABER MÁS SOBRE TALENTO 50+

www.coit.es/servicios/talento-y-empleo/talento50



MERCEDES BARRACHINA.

Ingeniera de Telecomunicación (PhD) y SAP Innovation Lead en IBM.

Historia, logros y desafíos

Mujeres en la Inteligencia Artificial

A lo largo de la historia, las mujeres han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA), aunque su contribución ha sido muchas veces invisibilizada. Desde los primeros avances en computación hasta la actual era de la IA y el aprendizaje automático, **numerosas científicas han dejado su huella en este campo, impulsando innovaciones** que han cambiado el mundo.

Todos sabemos que la Inteligencia Artificial (IA) es una de las tecnologías más revolucionarias del siglo XXI, con diferentes aplicaciones que van desde la automatización de tareas hasta el proceso de toma de decisiones en diferentes industrias, tan singulares como la medicina, la educación o el sector energético.

La que es considerada la primera programadora de la historia, **Ada Lovelace** (1815-1852), es una figura relevante en ciencias de la computación, puesto que los conceptos que desarrolló anticipaban ideas fundamentales en IA y computación moderna. Su trabajo inspiró a Alan Turing, quien la citó al argumentar sobre los límites del pensamiento mecánico y abriendo un debate que aún sigue en discusión en la IA actual, argumentando que las máquinas no pueden generar conocimiento original.

Logros destacados de mujeres en la IA

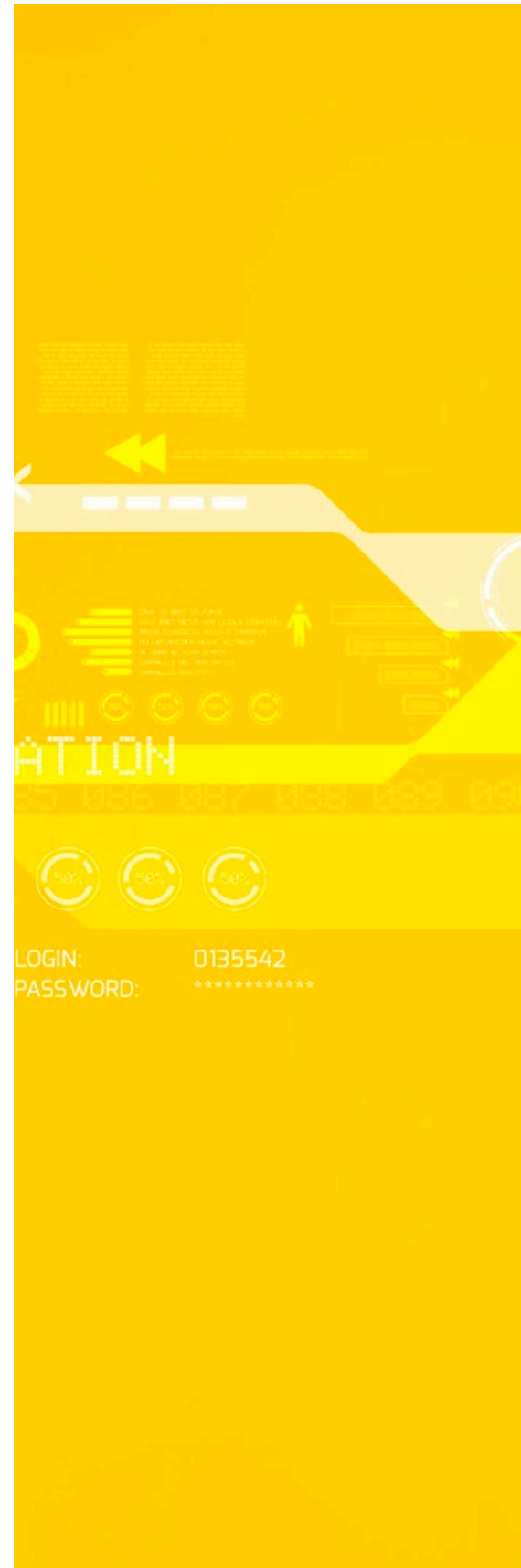
Más allá de Lovelace, otras mujeres han contribuido significativamente al desarrollo de la IA. Un ejemplo es **Grace Hopper**, pionera en la programación informática y desarrolladora del primer compilador para un lenguaje de pro-

gramación. Su trabajo facilitó el diseño de software más flexible y accesible, lo que resultó clave para el avance de los sistemas inteligentes.

En décadas recientes, investigadoras como **Fei-Fei Li** han revolucionado el campo de la visión por computadora. Li lideró el proyecto ImageNet, una de las bases de datos más influyentes en la formación de modelos de aprendizaje profundo. Gracias a este trabajo, hoy en día los sistemas de reconocimiento facial, la conducción autónoma y otras tecnologías visuales inteligentes han alcanzado niveles impresionantes de precisión.

Otra figura notable es **Cynthia Breazeal**, pionera en el campo de la robótica social. Su investigación ha demostrado cómo los robots pueden interactuar de manera emocional e intuitiva con los humanos, abriendo posibilidades para la asistencia en el cuidado de personas mayores o en la educación infantil.

Además, mujeres como **Timnit Gebru** han contribuido no solo con avances técnicos, sino también con una perspectiva crítica sobre los riesgos éticos







de la IA. Gebru ha sido una voz destacada en el análisis de los sesgos algorítmicos y la necesidad de una IA más inclusiva, transparente y justa. Su trabajo pone en evidencia cómo la diversidad en los equipos de investigación impacta directamente en la calidad y equidad de los sistemas desarrollados.

En España también encontramos referentes relevantes como **Nuria Oliver**, doctora por el MIT y experta en IA, Big Data e interacción persona-máquina. Ha sido directora científica de datos en Vodafone y es cofundadora de la Fundación ELLIS Alicante, dedicada a una IA centrada en las personas.

Otro ejemplo es **Asunción Gómez-Pérez**, catedrática de la Universidad Politécnica de Madrid y una de las figuras más influyentes en el desarrollo de ontologías para la web semántica, clave en la estructuración del conocimiento en sistemas inteligentes.

La ganadora en 2024 del premio Pioneras _IT del COIT, **Valery Naranjo**, también es un ejemplo de mujer española que ha contribuido al campo de la IA. Ha liderado proyectos innovadores aplicando IA al diagnóstico temprano de enfermedades como la diabetes, la hipertensión y el cáncer.

Desigualdades y caminos hacia la equidad

A pesar de estos logros, las mujeres continúan enfrentando barreras significativas en el ámbito de la IA. La brecha de género en los campos STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) persiste, reflejándose en una menor representación femenina en carreras técnicas, puestos de liderazgo en tecnología y en la autoría de publicaciones científicas.

Actualmente, las mujeres representan aproximadamente el 22% de los profesionales que trabajan en el campo de

la IA, una cifra que evidencia una preocupante brecha de género tanto a nivel global como en el contexto español.

Esta desigualdad no sólo refleja un desequilibrio en las oportunidades de acceso y desarrollo profesional dentro de un sector estratégico, sino que también tiene consecuencias directas sobre la calidad y equidad de las soluciones tecnológicas que se generan.

A nivel internacional, diversos informes, incluido el Global Gender Gap Report del Foro Económico Mundial, señalan que la IA es una de las áreas donde la presencia femenina es especialmente baja dentro del ecosistema STEM.

Además, los sesgos de género no solo afectan a quienes trabajan en IA, sino también a los propios sistemas que se diseñan. La falta de diversidad en los equipos de desarrollo puede dar lugar a algoritmos que reproducen o amplifican discriminaciones estructurales, desde asistentes virtuales con comportamientos estereotipados hasta sistemas de selección de personal que penalizan a mujeres.

A lo largo de la historia, las mujeres han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo de la Inteligencia Artificial (IA)



A nivel internacional, diversos informes señalan que la IA es una de las áreas donde la presencia femenina es especialmente baja dentro del ecosistema STEM

auditorías algorítmicas con enfoque de género, y fomentar la participación activa de mujeres y otros grupos infrarrepresentados. Solo así se podrá construir una IA verdaderamente inclusiva, que responda con responsabilidad social a los retos de nuestro tiempo.

También existe un problema de visibilidad: muchas contribuciones femeninas en la historia de la IA han sido minimizadas o adjudicadas a colegas masculinos. Esta falta de reconocimiento dificulta la creación de referentes para nuevas generaciones de mujeres interesadas en el campo. Además, la escasez de mujeres en posiciones de liderazgo limita su capacidad de influir en la dirección estratégica de los desarrollos tecnológicos.

Hoy en día, la IA no solo impulsa la innovación tecnológica en prácticamente todos los sectores productivos, sino que también plantea profundos debates éticos, sociales y filosóficos. Cuestiones como el sesgo algorítmico, la privacidad de los datos, el reemplazo de empleos por automatización y la responsabilidad de las decisiones automatizadas exigen una reflexión crítica y multidisciplinaria.

Sin embargo, a pesar de su impacto creciente en la sociedad, las mujeres continúan estando significativamente subrepresentadas en el ámbito de la IA. Factores estructurales como la brecha de

género en la educación STEM, los prejuicios persistentes en entornos académicos y empresariales, y la escasa visibilidad de referentes femeninos dificultan tanto el acceso como la permanencia de las mujeres en este campo. Como ya hemos comentado, a menudo sus contribuciones son minimizadas o atribuidas a colegas masculinos, perpetuando un ciclo de exclusión y desmotivación.

Por todo ello, fomentar la participación y el liderazgo de las mujeres en la IA no es sólo una cuestión de igualdad, sino también una condición necesaria para avanzar hacia tecnologías más éticas, humanas y representativas de la pluralidad social.

La diversidad en los equipos de desarrollo permite integrar distintas perspectivas, experiencias y valores, enriqueciendo los procesos de diseño y toma de decisiones. Abordar este desafío requiere una apuesta decidida por políticas educativas inclusivas, programas de mentoría, incentivos institucionales y cambios estructurales en el ámbito académico y profesional.

También es clave garantizar entornos laborales seguros y equitativos, donde las mujeres puedan crecer, ser reconocidas y ejercer influencia. Solo así será posible construir una IA verdaderamente ética, plural y al servicio de toda la sociedad, que innove y promueva justicia, inclusión y bienestar colectivo. ▴

Estos sesgos no surgen de forma accidental. También reflejan los prejuicios presentes en los datos utilizados y en las decisiones tomadas durante el diseño y entrenamiento de los modelos. Por ejemplo, bases de datos históricas que reflejan desigualdades pasadas pueden perpetuar patrones injustos si no se analizan críticamente.

Asimismo, cuando los equipos carecen de perspectivas diversas, es más probable que pasen por alto impactos negativos en poblaciones vulnerables. El resultado es una inteligencia artificial que, en lugar de reducir brechas, las acentúa. Por ello, es urgente aplicar enfoques de equidad desde las etapas iniciales del desarrollo tecnológico, implementar

Mujeres en la Inteligencia Artificial



Asunción Gómez



Cynthia Breazeal



Fei-Fie Li



Grace Murray



Nuria Oliver



Timnit Gebru



Valery Naranjo



JOSÉ ANTONIO ONDIVIELA.
Director del Citizen-Centric Intelligent Cities Research Institute.
EPS-Universidad Francisco de Vitoria.

Ciudad Innovadora, ¿qué es y cómo se puede medir?

Las ciudades son hoy el laboratorio donde se ensayan las estrategias y respuestas a la triple transición verde-digital-social del siglo XXI. Sin embargo, el término ‘ciudad innovadora’ se emplea con ligereza y carece de un consenso operativo comparable al de *Smart city* o *Resilient city*. Según José Antonio Ondiviela, autor de este artículo, la ciudad innovadora es aquella que, a través de una gobernanza controlada pero audaz y ágil, **despliega una cartera verificable de activos físicos, digitales, humanos y culturales que habilitan la creación artística y/o la adopción de soluciones tecnológicas** con alto impacto social y medioambiental.



Las ciudades son hoy el laboratorio donde se ensayan las estrategias y respuestas a la triple transición verde-digital-social del siglo XXI

Vamos a proponer una definición sintética basada en la convergencia de seis sistemas de referencia que han abordado esta cuestión (OECD; iCapital; Innovation Cities™ Index; WSJ City of the Year; JLL Innovation Geographies, y la distinción española ‘Ciudad de la Ciencia y la Innovación’), desglosando 45 criterios en diez grandes atributos. El objetivo es ofrecer a investigadores, planificadores y decisores públicos un marco que sea comparativo, medible y replicable.

A partir de la literatura y de los principales marcos de evaluación internacionales, las ciudades innovadoras comparten un núcleo de **atributos recurrentes** que permiten pasar de la idea de ‘ciudad creativa’ (tradicionalmente asociada al arte dirigido o espontáneo) o ‘*Smart city*’ (tradicionalmente asociada al uso de nuevas tecnologías) a un concepto más amplio de **innovación urbana sistémica**.

Marcos internacionales de evaluación

• OCDE. “Enhancing Innovation Capacity in City Government”.

El estudio identifica cinco ejes: estrategia y visión; liderazgo y estructura; uso de datos; financiación, y evaluación de resultados. La premisa es que la innovación urbana depende ante todo de la ‘capacidad institucional’ del gobierno local (personal, recursos, liderazgo...).

• European Capital of Innovation (iCapital).

La Comisión Europea premia anualmente a las ciudades que sobresalen en seis ejes: *Experimenting, Escalating, Ecosystem building, Expanding, Innovative Vision* y

Citizens’ rights. Este esquema enfatiza la experimentación pública, el crecimiento futuro y la visión a largo plazo, y la participación ciudadana como motores de innovación.

• Innovation Cities™ Index (2Think-Now).

Con 162 indicadores y 1.300 variables, el índice clasifica más de 500 ciudades según tres factores: *Ideation, Implementation* y *Communication*, complementados por una cuarta dimensión de factibilidad. Mide condiciones económicas, culturales y tecnológicas, más que políticas públicas concretas. En una ruta de más emergentes a consolidadas, nos propone cuatro tipos de ciudades en innovadoras: **Emergentes** (avanza hacia la competitividad global, pero sólo destaca en algunas áreas y de forma regional); **Nodo** (ciudad globalmente competitiva en algunas carteras de innovación); **Hub** (ciudad retadora y audaz, que innova en carteras clave de innovación económica y social), y **Nexo** (ciudades consolidadas a nivel mundial que suponen un nexo crítico para múltiples segmentos de innovación económica y social. Son los lugares menos volátiles para la innovación).

• WSJ & Citi. “City of the Year/Most Innovative City”.

Ya desfasado, este concurso global de 200 ciudades pondera ocho categorías: *Environment & Land Use; Culture & Livability; Economic/Investment Climate; Progress & Potential; Places of Power; Education & Human Capital; Technology & Research*, y *Mobility & Infrastructure*. Añade la percepción ciudadana mediante votación pública.

Marcos corporativos y académicos complementarios

• JLL. “Innovation Geographies 2024”.

El informe analiza 108 ciudades y combina indicadores de *output* (patentes, inversiones de capital riesgo, *exit valuations*...) con variables de talento (graduados STEM, concentración de empleo *high-tech*...). Destaca la convergencia entre ecosistemas de innovación y mercados inmobiliarios dinámicos.

• Nature. “Global Innovation Hubs Index 2024” (GIHI).

Rastrea el desempeño científico-tecnológico de 120 áreas metropolitanas y confirma la correlación entre masa crítica de investigación, cadenas de suministro de alta tecnología y políticas de atracción de talento global.

El referente nacional: Red Innpulso

La distinción “Ciudad de la Ciencia y la Innovación” (RDCCI 2024) otorga hasta 30 galardones por trienio y evalúa tres bloques temáticos (ciudadanía, empresa y organización interna) más la compra pública de innovación. Cada bloque se valora con peso específico y se exige evidencia presupuestaria y de CPI (Compra Pública Innovadora). La Red Innpulso actúa luego como *living-lab federal* para compartir buenas prácticas.

Definición propuesta

Por todo ello, podríamos decir que una ciudad innovadora es aquella que, a través de una gobernanza controlada pero audaz y ágil, despliega una cartera verificable de activos físicos, digitales, humanos y culturales que habilitan la creación artística y/o la adopción de soluciones tecnológicas con alto impacto social y medioambiental. Lo hace manteniendo mecanismos formales de experimentación, medición y réplica, y destinando recursos presupuestarios significativos a la innovación abierta, la compra de transferencias de investigación y la atracción de talento global.

Discusión: implicaciones para la medición comparada

• Disponibilidad de datos. Mientras

A partir de la literatura y de los principales marcos de evaluación internacionales, las ciudades innovadoras **comparten un núcleo de atributos recurrentes**

Síntesis taxonómica: diez grandes atributos

De los más de 45 criterios rastreados emergen diez atributos transversales que describen el ADN de la ciudad innovadora.

	Atributo
1. Visión y gobernanza de la innovación	Estrategia formal, liderazgo político y cultura de riesgo controlado. Presupuesto $\geq 1\%$ del gasto destinado a I+D municipal (OECD, Innpulso)
2. Liderazgo colaborativo (cuádruple hélice)	Comités mixtos gobierno-empresa-academia-ciudadanía, co-diseño de políticas, <i>hubs</i> de gobernanza de datos (iCapital, WSJ)
3. Capital humano y talento	Disponibilidad de mano de obra altamente cualificada, universidades, centros I+D y programas de <i>upskilling</i> . $\geq 20\%$ de fuerza laboral con título STEM; ranking Top-50 GIHI o JLL en atracción de graduados internacionales
4. Ecosistema emprendedor y financiero	<i>Startups</i> , acceso a capital riesgo, compras públicas de innovación e incentivos a Pymes. \geq US\$ 300 M de VC anual/gran ciudad o ratio VC/PIB local $> 0,5\%$ (JLL, 2ThinkNow)
5. Infraestructura física y digital	Cobertura 5G $> 95\%$, redes de IoT urbanas abiertas, <i>maker spaces</i> por encima del percentil 75, <i>living-labs</i> y <i>sandbox</i> regulatorios. (WSJ, OCDE)
6. Datos y tecnologías avanzadas	Plataformas <i>open data</i> con > 200 <i>datasets</i> ; gemelos digitales urbanos operativos, IA predictiva en ≥ 3 servicios críticos (OCDE)
7. Cultura, creatividad y marca ciudad	<i>Industrias culturales</i> , <i>arte público</i> , <i>eventos que estimulan la experimentación social</i> . ≥ 3 eventos internacionales de arte/innovación al año; <i>gasto cultural</i> $> 2\%$ del presupuesto municipal (WSJ, 2ThinkNow)
8. Sostenibilidad y resiliencia	Innovación climática, economía circular y adaptación frente a riesgos naturales y humanos. Plan Net-Zero alineado con IPCC; <i>score</i> $> AA$ en resiliencia climática, soluciones basadas en la naturaleza en piloto / plan (iCapital)
9. Inclusión y derechos ciudadanos	Estrategia de participación digital, accesibilidad universal, programas específicos para minorías tecnológicas, evitar brecha tecnológica (iCapital, Innpulso)
10. Evaluación, escalado de resultados	Indicadores claros, métricas de impacto y mecanismos de réplica interurbana. KPI públicos, <i>dashboards live</i> y al menos 10% del gasto de innovación canalizado vía Compra Pública Innovadora (OCDE, Innpulso). Habría que buscar un equivalente fuera de España como Inversión en Research.

OCDE y iCapital publican *scores* cualitativos, 2ThinkNow y JLL ofrecen *datasets* comparables; la Red Innpulso obliga a que los ayuntamientos documenten proyectos y presupuestos, aportando granularidad.

• **Limitaciones.** La heterogeneidad de fuentes introduce sesgos regionales (sobre-representación de ciudades europeas y norteamericanas en algunos índices) y sectoriales (peso excesivo de métricas de *venture capital*). Corregirlo exige normalizar con parámetros poblacionales y ajustar la PPA (Paridad de Poder Adquisitivo).

Conclusiones y agenda futura

Definir la ciudad innovadora exige superar visiones centradas en infraestructura digital o atracción de *startups*. La síntesis aquí presentada muestra que la innovación urbana es **sistémica, relacional y orientada al impacto ciudadano**, y que sólo se consolida cuando coexisten:

- Liderazgo político-técnico que asume un riesgo medido. Sabio pero audaz.
- Mecanismos de co-creación y evaluación continuos.
- Una combinación equilibrada de capital humano, inversión y cultura.
- Compromisos de sostenibilidad e inclusión que aseguren compromiso social.

Se sugieren unos próximos pasos de investigación que incluyen:

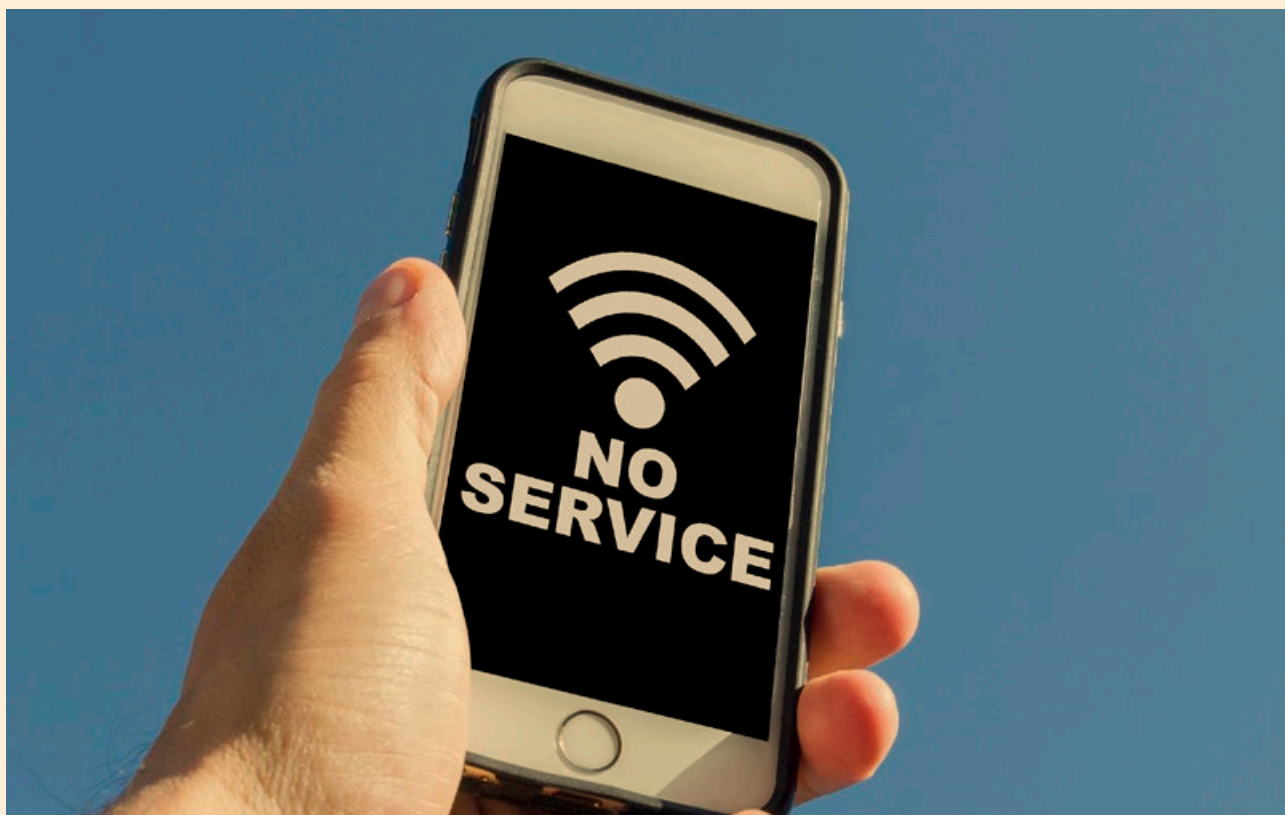
- Validar empíricamente la correlación de diez grandes atributos (ver cuadro adjunto) con indicadores de bienestar (por ejemplo, OCDE Better Life).
- Analizar la trayectoria temporal de ciudades que han ganado premios iCapital o premios de la Red Innpulso para verificar si persisten en el desempeño o simplemente 'han salido bien en una foto'.
- Explorar cómo la Inteligencia Artificial generativa y los gemelos digitales modifican la curva de adopción de políticas públicas innovadoras. Con ello, avanzaremos hacia métricas predictivas de innovación y no meramente descriptivas. ▴



JOSÉ LUIS ADANERO PALOMO.
Ingeniero de Telecomunicación.

Las telecomunicaciones y el ‘apagón eléctrico’

Los medios de comunicación han dedicado una especial atención desde el pasado 28 de abril hasta hoy al ‘apagón eléctrico’ y **se han olvidado de los efectos que la caída de la red eléctrica ha tenido en las redes de telecomunicación**. Las redes de telecomunicación constituyen el ‘sistema nervioso’ de las sociedades modernas. A través de ellas se intercambia información entre personas, entre personas y máquinas, y entre máquinas.



La caída de las redes de telecomunicaciones paraliza la actividad económica, genera angustia en las personas por la incapacidad de comunicarse entre ellas y provoca aislamiento entre quienes dependen de ellas para comunicarse con los centros de emergencias, lo que hace que deban ser consideradas a todos los efectos como un conjunto de infraestructuras críticas.

Ante el ‘apagón eléctrico’ cabe preguntarse cuál ha sido el comportamiento de las redes de telecomunicación de los Operadores que prestan servicio en España. La respuesta, en mi opinión, es que el comportamiento de las redes de telecomunicación de los diferentes Operadores y en particular de las redes móviles, no han cumplido con las expectativas que cabría esperar y han

dejado incomunicada a la mayor parte de la población. Este hecho, que ha pasado inadvertido en los medios de comunicación, es de extrema gravedad.

Desde que nació la telefonía automática, las redes de telecomunicaciones se han proyectado y construido de modo que la ausencia de corriente eléctrica, por caída del suministro en los equipos

Ante el ‘apagón eléctrico’ cabe preguntarse cuál ha sido el comportamiento de las redes de telecomunicación de los Operadores que prestan servicio en España

que integraban dichas redes (centrales de conmutación, equipos de transmisión por cable o radio) no impedía que siguieran funcionando y consiguientemente brindando el servicio ofrecido, gracias a que se les dotaba de un sistema de alimentación eléctrica de respaldo que entraba en funcionamiento en modo automático al detectar la ausencia de la alimentación principal, desconectándose también de forma automática, cuando se restablecía la alimentación principal. El sistema de respaldo estaba integrado por un grupo electrógeno de autogeneración eléctrica y un banco de baterías de almacenamiento, de la energía generada.

Los terminales telefónicos (teléfonos fijos) que teníamos en nuestros hogares u oficinas, no se alimentaban de la corriente eléctrica del hogar o de la oficina, sino que recibían la corriente de polarización que requerían para su funcionamiento a través del par de hilos que llegaban desde la central de conmutación de la que dependía ese cliente, de forma que se garantizaba la continuidad del servicio telefónico que brindaba, aun en ausencia de corriente eléctrica también en el hogar o en la oficina. De esta forma se disponía de un sistema autónomo de alimentación eléctrica capaz de dar continuidad al servicio ante cualquier ‘apagón eléctrico’.

Las anteriores determinaciones en los proyectos de las redes de telecomunicaciones han constituido principios básicos para los ingenieros encargados de estas tareas, que nadie ha cuestionado desde el inicio de la telefonía automáti-

ca, y han estado vigentes en nuestro país hasta fechas relativamente cercanas.

La fibra óptica

La llegada de la fibra óptica a los hogares, a la oficina y a la industria, realizada por parte de los Operadores para ofrecer a sus clientes un conjunto de nuevos servicios de banda ancha, ha eliminado la utilización del ‘par de cobre’, y con ello se ha eliminado la posibilidad de alimentar a distancia el terminal de usuario (el teléfono fijo), cuyo uso ha pasado a verse sustituido, en la mayor parte de los casos, por el teléfono móvil.

Así mismo, la necesidad de utilizar un ‘router’ y otros equipos (STB) para bridar los servicios de banda ancha (acceso a internet, vídeo, televisión a la carta, etc.) que requieren ser alimentados localmente, ha hecho que estas redes no puedan ser proyectadas bajo el mismo principio de continuidad del servicio ante un apagón eléctrico, ya que la falta de alimentación de los equipos de usuario imposibilita el mantenimiento del servicio. Hoy las redes de telecomunicación de fibra óptica coexisten con las redes móviles, manteniendo estas una arquitectura independiente, particularmente en el acceso a la misma.

En España, al igual que en otros muchos países, la mayor parte de las personas hacen prácticamente uso exclusivo del teléfono móvil para comunicarse, ya sea a través de la voz, de los mensajes, etc., siendo el teléfono móvil personal el terminal de mayor difusión.

Todos los teléfonos móviles tienen baterías recargables, que ofrecen una

autonomía de varias horas, de forma que ante cualquier ‘apagón’ de la red eléctrica como la del pasado día 28 de abril pueden seguir utilizándose hasta que la batería se descargue. Llegados a este punto cabe preguntarse: ¿Por qué entonces las redes móviles dejaron de funcionar, en su práctica totalidad con el ‘apagón eléctrico’?

Algunas estaciones base dejaron de funcionar cuando cayó la energía eléctrica, otras al cabo de algún tiempo cuando las baterías de respaldo agotaron su carga y no disponían de sistemas de autogeneración, o si los tenían, estaban mal mantenidos.

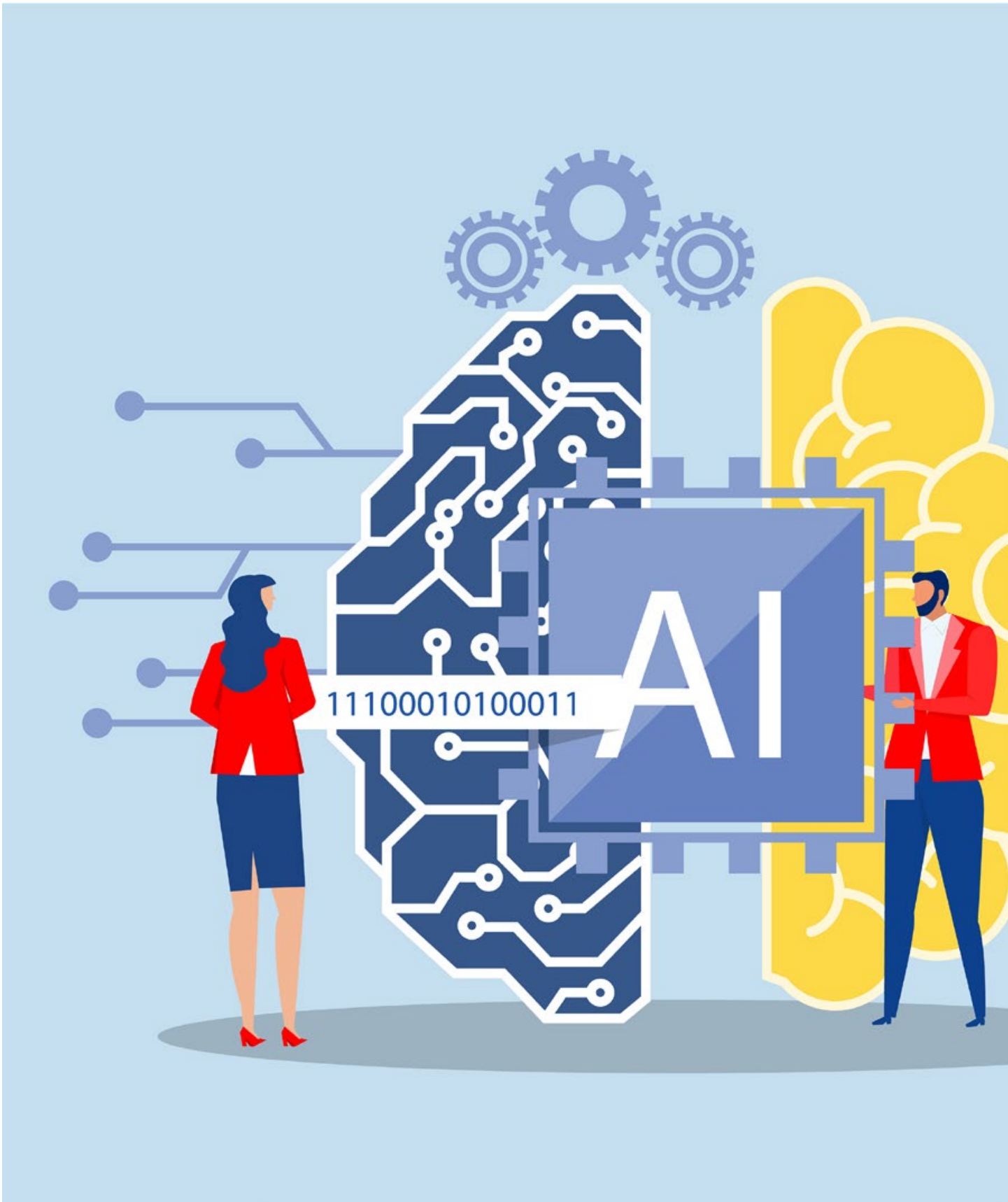
Este evento ha puesto de manifiesto la importancia de disponer en las estaciones base de las redes de telecomunicación, que constituyen el primer eslabón de la conexión de los usuarios con las redes móviles, de sistemas de respaldo de la electricidad eficientes y bien mantenidos para garantizar la continuidad del servicio en el suministro de la energía.

En países como Noruega y Finlandia los reguladores de los servicios de telecomunicaciones NKOM y TRAFICOM, han generado los instrumentos legislativos necesarios para exigir a los Operadores de las redes móviles de sus respectivos países un mínimo de horas de continuidad de su servicio ante la falta de suministro de energía, lo que demuestra que existen soluciones viables técnica y económicamente validas.

Esfuerzos similares se han realizado en Australia, donde su Gobierno ha subvencionado un programa de dotación de medios en un total de 467 estaciones base para garantizar la alimentación de las infraestructuras de un mínimo de 12 horas de respaldo.

En España, a la vista de lo sucedido, corresponde al Gobierno la adaptación de la legislación a la realidad de los hechos y la vigilancia del cumplimiento de la normativa para impedir que un apagón total o parcial en las redes eléctricas no conlleve necesariamente un apagón de las redes móviles de telecomunicaciones. ▴

Este evento ha puesto de manifiesto la importancia de disponer en las estaciones base de las redes de telecomunicación de sistemas de respaldo de la electricidad eficientes y bien mantenidos





CRISTINA RICARTE RABADÁN.
Presidente.



JUAN PABLO PUENTE PAESA.
Team Leader Comunicaciones.

Asociación de Alumnos de Telecomunicaciones de la Universidad de Zaragoza, AATUZ.

La visión de los alumnos de la Universidad de Zaragoza

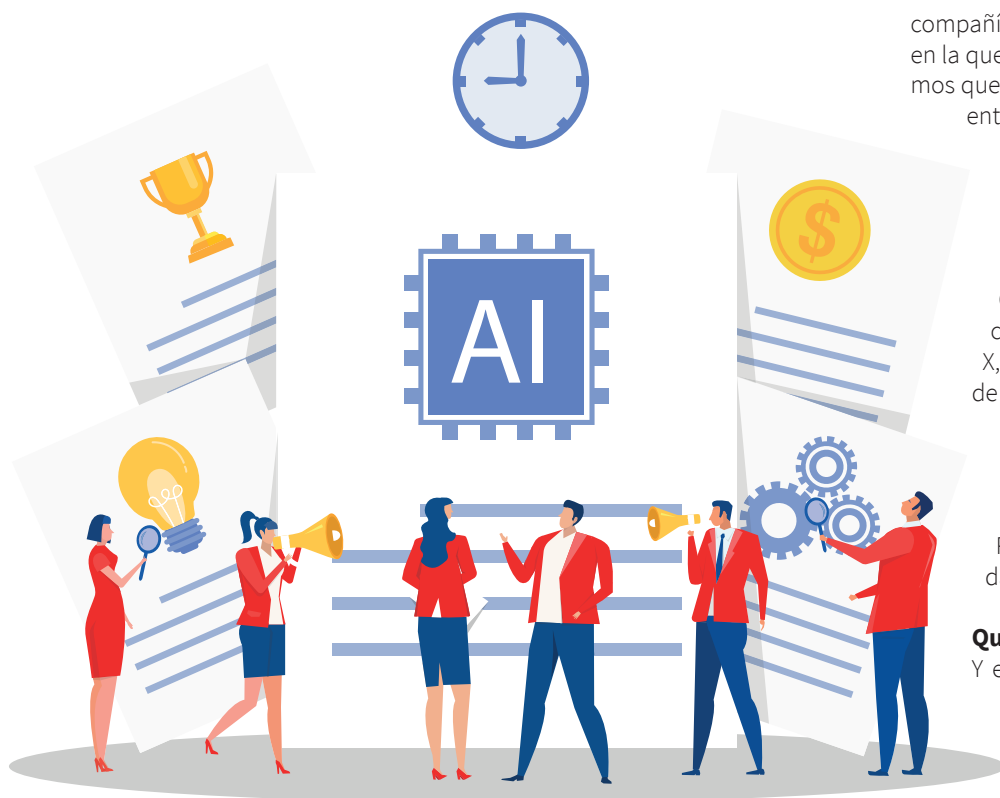
La Inteligencia Artificial en los estudios de Teleco

La Inteligencia Artificial lleva rondando nuestras vidas ya mucho tiempo. Desde sus inicios, cuando ni siquiera se llamaba Inteligencia Artificial y eran Redes Neuronales y pocos las entendían y usaban. Se puede usar una IA para cualquier cosa, preparar el menú semanal, traducir un libro del japonés, hacer carátulas para los vídeos de YouTube o programar una página web que venda perritos calientes a domicilio. Dentro de los miles de usos actuales, como futuros telecos que somos los que escribimos esto, **os vamos a contar una serie de aplicaciones que últimamente nos han resultado muy útiles.**

Dentro del grado hemos estudiado las redes neuronales aplicadas para procesar imágenes mejorando la definición o modificando el contraste. Utilizamos Python y la librería *torch* para configurar las redes neuronales dando forma y tamaño. Después, las entrenamos para la función que queríamos que cumpliera, que es procesar una imagen, y por último las utilizamos para mejorar la imagen.

Otro ejemplo dentro de nuestros estudios es la SNMP Guru, una versión de

chat GPT entrenado específicamente para entender y explicar el protocolo de gestión y monitorización de redes y dispositivos. En este caso, durante el curso aprendimos SNMP, pero también aprendimos cómo interactuar con la IA para obtener los resultados que queríamos. Los conocimientos que pudimos obtener en el tiempo que duró la asignatura aumentaron, ya que, en vez de consultar manuales, SNMP Guru nos ahorró mucho tiempo y nos permitió aprender más de gestión de red.



compañía tiene su IA y su aplicación en la que está incorporada. Suponemos que cuanto más se usen, mejor entrenadas estarán, y por eso las empresas buscan que los usuarios las usen gratis.

Algunos ejemplos son GROK en lo que ahora se conoce como la red social X, Gemini en la aplicación de SMS de Google, Meta AI en Instagram, Whatsapp y Messenger, que es el chat de Facebook, o la IA integrada en LinkedIn llamada Premium que te ayuda a redactar las publicaciones.

Qué hace la AATUZ

Y es esto último de lo que os queremos hablar. Somos estudiantes de Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación, pero también formamos parte de la AATUZ (Asociación de

Alumnos de Telecomunicaciones de la Universidad de Zaragoza). AATUZ es una Asociación estudiantil que se debe a las telecomunicaciones con una labor divulgativa además de nuestra función como conexión con el mundo laboral.

Los proyectos que llevamos a cabo comprenden un podcast llamado 'Teleco Al Habla', las jornadas de NEOCOM, que son una serie de charlas y visitas a empresas organizadas para poner en contactos a los estudiantes con las empresas, y la publicación de datos, artículos, memes y otras publicaciones divulgativas en nuestras redes sociales.

Nuestro objetivo es dar a conocer la profesión, despertar vocaciones entre los más jóvenes y fomentar la actividad entre los estudiantes, para que entre todos podamos disfrutar más de lo que hacemos.

En nuestra rutina diaria, la IA juega un papel crucial en proyectos de difusión técnica en redes sociales. Buscamos no sólo 'soltar' información, sino hacerla

Uso de la IA generalizado

A parte de estos dos ejemplos que han sido impulsados por los propios profesores, los alumnos de hoy usamos la IA prácticamente en todas las asignaturas. En Comercio Electrónico, por ejemplo, hemos tenido que diseñar, planificar y llevar a cabo una idea de negocio online. Usamos la IA para ilustrar una historia que justificara el uso del negocio creando imágenes que acompañaban al texto de una calidad impresionante que volvieron la historia mucho mejor. Y, por supuesto, para programar la propia web del comercio electrónico, programando de cero con HTML y CSS. No sabíamos casi nada de estos lenguajes y en apenas dos meses habíamos conseguido una web funcional y atractiva que daba forma a nuestra idea y cumplía con todas las expectativas. Todos hemos utilizado la IA para intentar

resolver dudas y ejercicios, pero aparte de eso le damos muchos más usos.

Buscar algo en internet, ya sea en Google u otros navegadores, está cambiando. Ahora, si planteas en el buscador una pregunta entera, en vez de buscar por conceptos como hemos hecho siempre, lo primero que obtienes es una respuesta redactada que intenta resolver lo preguntado.

Esto es una revolución en la red. Además de obtener los enlaces a artículos y páginas relevantes que nos pueden ayudar, obtenemos una primera respuesta clara en lenguaje natural para nosotros que muchas veces puede hasta resolvernos la cuestión.

La IA se ha integrado en los buscadores, pero también en las aplicaciones. Cada

AATUZ es una Asociación estudiantil que se debe a las telecomunicaciones con una labor divulgativa, además de nuestra conexión con el mundo laboral

Nuestro objetivo es **dar a conocer la profesión**, despertar vocaciones entre los más jóvenes y fomentar la actividad entre los estudiantes

interesante para promover la interacción con nuestro público. Queremos que todos aprendan, pero también sacarles alguna sonrisilla y crear conversación con otros compañeros.

Para conseguirlo utilizamos la IA para generar imágenes libres de derechos de autor y para reescribir y mejorar las descripciones de nuestras publicaciones. Como lo haría la IA integrada en LinkedIn que hemos mencionado, pero usando Chat GPT y otros algoritmos para resumir y condensar los textos, añadiendo los emoticonos adecuados y destacando los conceptos clave para así lograr una lectura atractiva cumpliendo con el límite máximo de caracteres que imponen estas plataformas.

Muchas veces estas publicaciones resultan escuetas por esto mismo, pero el objetivo es más picar la curiosidad de nuestra audiencia para fomentar la investigación propia y las conversaciones de tecnología que tanto nos llenan a los ingenieros.

En las NEOCOM que organizamos participan empresas que nos enseñan sobre la tecnología más puntera. En estas actividades contamos con debates, mesas

redondas y talleres donde se abordan temas relacionados con la IA. Reunimos a expertos en IA y telecomunicaciones para explorar desafíos críticos, como la ciberseguridad en redes inteligentes y la garantía de la ética en la automatización de las telecomunicaciones.

Estos eventos nos permiten profundizar en las implicaciones y oportunidades que la IA ofrece en el sector de las telecomunicaciones. Un buen ejemplo es la colaboración con la Cátedra de RTVE de la Universidad de Zaragoza. Ya son varios años que nos muestran las iniciativas llevadas a cabo con IA en la televisión pública. Nos contaron cómo usan las redes neuronales para optimizar la digitalización de los metadatos del archivo de RTVE y para mejorar la generación de los mismos de una forma más autónoma.

En otra charla nos enseñaron Hiperia, el avatar de Radio 3 que creaba contenido audiovisual y exploraba la música y la cultura de los jóvenes cada lunes, siendo el avatar una IA. Ya en septiembre de 2022 hablábamos de IA en una ponencia del evento de la Expotic que culminó el XXXIII CEET. Ese mismo curso, en marzo de 2023 durante las jornadas de

las NEOCOM y gracias a NTT Data tuvimos una emocionante ponencia titulada: *'Generative AI (from text to anything)'*, cuando la IA generativa aún estaba en sus inicios. Es un tema que nos toca desde siempre y que desde AATUZ seguiremos explorando y disfrutando.

Como ya vimos en el evento The Wave 2025 en Zaragoza, estamos a la vanguardia de la tecnología, y la IA es ahora uno de los ejes principales. Desde AATUZ y desde las telecomunicaciones, creemos que somos fundamentales para diseñar las infraestructuras que permitan que la IA prospere, optimizando redes y desarrollando aplicaciones adaptativas.

Asociaciones como AATUZ tienen la capacidad de liderar la divulgación en estas áreas, consolidando su relevancia tanto en el ámbito académico como profesional. NEOCOM y 'Teleco Al Habla' pueden constituirse como plataformas clave en la transferencia de conocimiento técnico sobre la simbiosis entre IA y telecomunicaciones, fomentando el avance de la profesión y su impacto en la sociedad.

Si os quedáis con ganas de más, podéis escuchar el episodio 2 del podcast de 'Teleco al Habla' en el que colaboramos con otra asociación de nuestra universidad explorando el tema. También os invitamos a escuchar el resto de los episodios del podcast. ¡Seguro que os gustarán! ▴



Stand de la AATUZ en la Semana de la Ingeniería de la Universidad de Zaragoza.



Jornada de NEOCOM del 17 de febrero de 2025 '¿Qué es trabajar en ciberseguridad?' con Antonio Sanz.



JOSÉ MANUEL ARIAS CALVO.

Ingeniero de Telecomunicación. MIT Sloan System Design and Management.

La organización que aprende

La organización que aprende constituye un activo para la generación de conocimiento. En este contexto, una organización que aprende se caracteriza por **impulsar la compartición de información entre sus miembros**. Una organización que aprende se caracteriza también por la existencia de un menor número de niveles jerárquicos en su estructura. Como consecuencia de todo ello, se agilizan sus procesos y surge una cultura más colaborativa.

El papel que las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) desempeñan en una organización que aprende se materializa en la existencia de sistemas de información que la interconectan tanto interna como externamente.

Las interconexiones internas relacionan las diferentes gerencias organizativas entre sí, mientras que las interconexiones externas lo hacen entre la organización (entiéndase cliente) y organizaciones externas (entiéndase subcontratistas) en el marco de una relación contractual entre contratista y subcontratistas.

La interconexión interna se materializa en Sistemas Enterprise Resource Planning o ERP. Por otra parte, la interconexión externa se materializa en la existencia de sistemas Customers Relationship Management o CRM para sus relaciones con el cliente y Supply Chain

Management o SCM para sus relaciones con el suministrador, integrando toda la cadena de valor.

Se ve así favorecida la colaboración entre organizaciones, que fomenta la realización de trabajos conjuntos entre clientes y desarrolladores. Ejemplo de todo ello es la existencia de grandes proyectos, pero también de metodologías ágiles.

Los grandes proyectos requieren un alto nivel de colaboración entre gerencias y la colaboración de múltiples niveles organizativos. Es natural que se requiera la intervención de múltiples empresas en una relación jerárquica de clientes y suministradores.

Esto, que podría parecer una contradicción con respecto a la idea de la existencia de un menor número de niveles jerárquicos en su estructura, no lo es, porque las jerarquías que se producen son entre organizaciones planas.

El papel que las TIC se materializa en la existencia de **sistemas de información que interconectan** tanto interna como externamente







Estas estructuras entre organizaciones constituyen un elemento variable con el tiempo, pues tras la conclusión de cada proyecto antiguo se produce una nueva estructura entre organizaciones correspondiente a cada nuevo proyecto. Es razonable que cada nuevo proyecto cuente con un ejercicio que debe garantizar que todo el sistema de información entre organizaciones pueda considerarse operable.

Metodologías ágiles

Las metodologías ágiles como Kanban o Scrum se caracterizan por una fuerte interacción entre clientes y desarrolladores. En ellas, la gestión del conocimiento desempeña un papel fundamental. De hecho, el método Scrum fue definido por Nonaka y Takeuchi, autores de la organización creadora de conocimiento. El método Scrum divide todo el trabajo a realizar en intervalos o *sprints* de alrededor de un mes de duración.

Antiguos jefes de Proyecto de Indra me aseguraban que la utilización de sistemas de información reducía el coste y el tiempo de desarrollo de proyectos de ingeniería. En el contexto de los nuevos desarrollos, esta reducción de costes y tiempos puede llevar a una mayor agilidad si cabe, ya de por sí significativa en metodologías ágiles.

Por ello, es pertinente en este contexto dilucidar qué papel puede desempeñar un sistema de información como un ERP, un CRM o un SCM, o el uso conjunto de todos ellos. En Scrum, por ejemplo, el software objeto de la entrega puede almacenarse dentro de un CRM o un SCM para garantizar su compartición entre clientes y desarrolladores.

El conjunto de requisitos de alto nivel con prioridades que definen el trabajo a realizar puede trazarse a resultados de pruebas realizadas al final de cada *sprint* por medio de una herramienta de gestión de requisitos, que deberá ser accesible por medio de clientes y desarrolladores.

Los datos almacenados en una herramienta de gestión de requisitos pueden utilizarse luego para crear un modelo basado en UML, pero esto ya no es un sistema de información, aunque pone de manifiesto la importancia del soporte de las tecnologías de la información

en la gestión organizativa en general y empresarial en particular.

Un sistema de información puede servir también para documentar la gestión de incidencias en los procesos de pruebas. En efecto, la experiencia del autor del presente artículo con un sistema de información facilita la comunicación entre organizaciones durante la ejecución de los procesos de pruebas que servirán para demostrar el cumplimiento del conjunto de requisitos de alto nivel con prioridades que definen el trabajo a realizar en cada *sprint*.

Todo este proceso tiene el objetivo de generar una estructura flexible que se adapte rápidamente a los cambios que se producen entre los participantes del mercado y el entorno de la industria.

En este caso podemos concebir cada contrato (proyecto contratado por las administraciones públicas a una o varias empresas) como una oportunidad

Las metodologías ágiles como Kanban o Scrum se caracterizan por una fuerte interacción entre clientes y desarrolladores

Es pertinente dilucidar qué papel puede desempeñar un sistema de información como ERP, CRM y SCM, o el uso conjunto de todos ellos

para generar una sinergia de creación de conocimiento entre las administraciones públicas y las empresas privadas que constituyen los ejecutores últimos de los proyectos contratados.

En cierto modo, es verdad que los proyectos más grandes requieren más colaboración entre gerencias, con subcontratistas y con clientes finales. En grandes proyectos es posible que así sea el caso. Cada contrato genera un ecosistema de participantes que desde un punto de vista organizativo puede caracterizarse tecnológicamente como un sistema de información entre organizaciones.

Toda organización constituida por sus diferentes dimensiones (cultura, estructura, procesos y tecnología) debería poder caracterizarse por medio de su dimensión tecnológica como un sistema de información.

En el caso de grandes conglomerados organizativos variables en el tiempo se trata más bien de un sistema de información entre organizaciones. Pero no hace falta irse muy lejos en lo que se refiere a tamaño de un proyecto para darse cuenta de que un sistema de información entre organizaciones también es válido para pequeños contratos

como los que puedan ejecutarse bajo el paraguas de Kanban o Scrum.

Transferencia de conocimiento

Uno de los problemas que pueden surgir en la gestión de tantos contratos es cómo garantizar la transferencia de conocimiento de un subcontratista privado a las administraciones públicas.

Mecanismos clásicos de transferencia de conocimiento como la exteriorización, que permitiría documentar el trabajo de los contratistas, y la interiorización, que facilitaría que un jefe de proyecto adquiriera ese conocimiento, resultarían de interés en este caso.

La socialización (intercambio de información implícita) y la combinación (intercambio de información explícita) parecen mecanismos menos eficaces en este caso (especialmente la socialización). En efecto, no parece probable que un jefe de proyecto dialogue distendidamente con un contratista. Mejor sería que dedicara su tiempo a garantizar que se producen las entregas de la manera estipulada.

Constante re-configuración

La naturaleza cambiante del entorno de la organización que aprende resulta evidente a partir de la constante

re-configuración de sus relaciones con los diferentes contratistas a lo largo del tiempo. En efecto, la duración de un contrato en Kanban o Scrum no suele llegar a un año.

Es en este contexto donde resulta conveniente recordar que Kanban y Scrum sirven al propósito de gestionar la generación de productos o servicios en periodos de tiempo inferiores al año, con lo que se generaría una estructura entre organizaciones para cada contrato desarrollado con su correspondiente sistema de información entre organizaciones.

O también podrían pensarse unas Administraciones públicas como un conglomerado de contratos de manera simultánea o sucesiva dependientes de una estructura central que sería la de las propias administraciones públicas.

A modo de resumen

En definitiva, las TIC constituyen una herramienta esencial en la gestión de proyectos en organizaciones que aprenden, tanto en proyectos grandes como en proyectos pequeños (aunque Kanban y Scrum por su división del trabajo en tareas de corto espacio de tiempo suele aplicarse a proyectos pequeños).

Este sistema de información se constituye mediante la interconexión de sistemas Enterprise Resource Planning o ERP, Customers Relationship Management o CRM y Supply Chain Management o SCM.

La existencia de dicho sistema de información responde a las necesidades de comunicación entre clientes y desarrolladores propias de todo proyecto de ingeniería. Es también relevante tener en cuenta que la utilización de sistemas de información garantiza la reducción de coste y de tiempo en la realización de proyectos de ingeniería, tanto en proyectos grandes como en proyectos pequeños.

La re-configuración entre organizaciones es una característica necesaria para garantizar que la estructura de estas queda configurada de acuerdo con las necesidades de los nuevos contratos. ▀





JAVIER DOMÍNGUEZ.
Ingeniero de Telecomunicación.



¿Sirve la Inteligencia Artificial generativa para explicar la realidad profesional de la Ingeniería de Telecomunicación y orientar el rumbo hacia el futuro? Por ahora, la ocurrencia no ha sido muy aleccionadora.

Nos advierten (*) de que mientras crece el número de matriculados en el conjunto de los másteres del sector TIC, disminuye el de los que eligen el Máster Universitario en Ingeniería de Telecomunicación (MUIT) –habilitante para el ejercicio regulado de la profesión–. Y que sólo un pequeño porcentaje de los que aprueban el MUIT deciden colegiarse (COIT) y, además, tardan en hacerlo.

Tras los datos subyace una realidad; conocerla e interpretarla ayuda a moldear una opinión y a la toma de decisiones.

Se me ocurre enredar con la Inteligencia Artificial (IA) generativa –diseñada para producir contenidos– para intentar entender la casuística de la desmotivación en la elección del Máster habilitante y la colegiación.

A los asistentes conversacionales (*chatbots*) más reconocidos (en sus opciones gratuitas, incluido el modelo chino) les formulo las mismas preguntas: ¿Por qué pierde atractivo el MUIT para los universitarios? ¿Por qué es pequeño el porcentaje de egresados del MUIT que deciden colegiarse en el COIT?

La IA generativa no ha sido, todavía, adiestrada en los sistemas de información universitaria y muestra unas perspectivas irrelevantes sobre el futuro de la Ingeniería de Telecomunicación

Para cada cuestión ofrecen, con amplia coincidencia, un repertorio de conjeturas que justificarían el desinterés: son diagnósticos muy cautos sin aportar cifras que los validen. La mayoría de las sospechas resultan razonables; las hay que discrepan de la doctrina institucional y alguna suena a disparate.

Intuyo que los inconsistentes resultados derivan de la dificultad para disponer de análisis específicos y rigurosos que faciliten el aprendizaje de las máquinas. Así, la IA se lamenta de no encontrar datos concretos sobre los matriculados en el MUIT y sugiere dirigirse directamente a los centros educativos que lo imparten. Uno de los *chatbots* propone “realizar encuestas entre estudiantes o analizar tendencias recientes en la matriculación y el mercado laboral”.

Desvío la conversación hacia las perspectivas sobre el futuro de la Ingeniería de Telecomunicación. Los *chatbots* identifican las –ya conocidas– tendencias tecnológicas y recomiendan flexibilizar los planes de estudio con itinerarios personalizables que permitan elegir entre diferentes especialidades y disciplinas: propuesta inocua para salir del paso de manera elegante. Se muestran escépticos sobre el interés de las instituciones profesionales: dudan de la necesidad y utilidad de la habilitación y colegiación. Entienden que la creciente diversificación y la internacionalización debilitarán el sentido de comunidad, mientras que las plataformas digitales facilitarán el intercambio social y el acceso al conocimiento.

Si perseveramos en la ocurrencia cabe repetir, más adelante, el chateo con la IA. Quizás entonces –si le adiestran en los sistemas de información universitaria y progresa en sus capacidades de razonamiento autónomo– podrá facilitarnos datos de calidad sobre los másteres y unas perspectivas vanguardistas del futuro de la Ingeniería de Telecomunicación. Eso sí, no se me escapa la importancia de preguntar con mayor destreza y de seleccionar los *chatbots* inteligentes más creativos, aunque no sean gratuitos. ▴

(*) <https://bit.coit.es/opinion/el-mundo-ha-cambiado-cambiamos-nosotros/>



EL AGUA
+ VALIOSA
DEL MUNDO



Buscamos empresas que quieran comprometerse
frente a la **CRISIS GLOBAL DEL AGUA.**

Une tu empresa a la red **AWA** y ayúdanos a conseguir
EL AGUA MÁS VALIOSA DEL MUNDO.

¿TE SUMAS? Hay una botella AWA esperándote



ELAGUAMASVALIOSA.ORG



COLABORA@ONGAWA.ORG



ONGAWA
INGENIERÍA PARA EL DESARROLLO HUMANO





FCO. JAVIER JIMÉNEZ LEUBE.
Dr. Ingeniero de Telecomunicación, UPM.

Sistema Integrado de Vigilancia Exterior, SIVE

La red invisible que vela por el mar español

Era septiembre de 1988 cuando nuestro compañero Ramón Izquierdo, con unos amigos, se hacían a la mar con unas tablas de windsurf. Por complicaciones con el viento y la falta de recursos técnicos y tecnológicos, tuvo que pasar toda la noche solo, apoyado en la tabla de surf, a varias millas de la costa en el océano Atlántico, como ha narrado en su libro 'Gracias Atlántico' (una historia publicada en la revista BIT, número 235). Le rescató un helicóptero de la Armada a la mañana siguiente. No había telefonía móvil, no había GPS, no había cámaras... **¿Qué ha cambiado tecnológicamente desde entonces? ¿Cómo ha contribuido la Ingeniería de Telecomunicación a la mejora?**

Nada menos que 35 años después de la aventura de Ramón Izquierdo, se puede imaginar una red que, lejos de ser visible a simple vista, utiliza radares costeros, cámaras térmicas, sensores móviles y algoritmos de última generación para vigilar, día y noche, miles de kilómetros de litoral español. Así funciona el SIVE (Sistema Integrado de Vigilancia Exterior) operado por la Guardia Civil. Es el gran aliado tecnológico de España en la lucha contra el narcotráfico, la inmigración irregular y el rescate marítimo.

Desde su entrada en servicio en Algeciras en 2002, el SIVE se ha convertido en referente internacional en la seguridad de fronteras, a pesar de los desafíos que acompañan a cualquier tecnología puntera.

Del radar analógico a los drones autónomos

El SIVE surgió como idea en la década de los noventa, dando respuesta a la presión migratoria y al aumento de las actividades ilícitas en el Estrecho de Gibraltar, uno de los pasos marítimos más activos del sur de Europa. Los primeros despliegues se realizaron en áreas especialmente sensibles, como Cádiz, Ceuta y Canarias, consolidándose con la primera estación plenamente operativa en Algeciras en 2002.

En estos últimos años, el sistema ha evolucionado desde simples radares costeros de corto alcance hasta una sofisticada red de sensores ópticos, térmicos y marítimos interconectados. Actualmente, el SIVE es capaz de detectar

SIVE es el gran aliado tecnológico de España en la lucha contra el narcotráfico, la inmigración irregular y el rescate marítimo



El sistema es capaz de detectar embarcaciones pequeñas a decenas de kilómetros y **distinguir movimientos sospechosos incluso con baja visibilidad**

embarcaciones pequeñas a decenas de kilómetros y distinguir movimientos sospechosos incluso en condiciones de baja visibilidad.

Los equipos de la Guardia Civil han incorporado mejoras constantes, como la visión nocturna, los sensores AIS (Automatic Identification System) para identificar buques, las comunicaciones encriptadas y la detección automática de anomalías. Gracias a estos avances, el sistema ha contribuido a salvar miles de vidas y frenar multitud de actividades ilegales.

¿Cómo funciona el SIVE?

El funcionamiento del SIVE se basa en estaciones fijas repartidas en puntos estratégicos del litoral, conectadas a

centros de mando que procesan en tiempo real los datos captados y apoyadas por estaciones móviles que se integran en la red.

Cuando un radar identifica un eco no esperado, las cámaras se orientan de inmediato y el personal especializado, apoyado por soluciones inteligentes, evalúa la amenaza. Si se confirma una actividad sospechosa, se movilizan patrullas marítimas, terrestres o aéreas en cuestión de minutos.

Aunque no he podido encontrar datos públicos oficiales sobre el tiempo medio de respuesta, fuentes de la Guardia Civil señalan que la actuación puede activarse en menos de cinco minutos en zonas plenamente cubiertas, gracias al alto

grado de automatización y a la coordinación interinstitucional. Esta rapidez sitúa a España entre los países más avanzados en vigilancia fronteriza y ha servido como carta de presentación de nuestra industria hacia otros mercados.

Tecnología móvil y cooperación internacional

Además de su infraestructura fija, el SIVE ha incorporado en los últimos años drones multirrotores con cámaras térmicas, vehículos todoterreno dotados de sensores y embarcaciones autónomas para ampliar la capacidad de actuación en zonas difíciles o en situaciones de emergencia. Todo ello permite reforzar la vigilancia en escenarios complejos y optimizar la respuesta ante cualquier incidente o amenaza.

Uno de los pilares del funcionamiento de este sistema es la cooperación entre organismos y actores involucrados o con intereses en esta tarea. Guardia Civil, Salvamento Marítimo, la Armada y el Servicio de Vigilancia Aduanera trabajan de forma coordinada, compartiendo información a través de protocolos interoperables.

A nivel europeo, el SIVE está integrado en la plataforma EUROSUR, facilitando el intercambio de datos en tiempo real y la colaboración en operaciones conjuntas con otros socios de la Unión Europea.

Comunicaciones resilientes y salto a la ciberdefensa

La arquitectura de comunicaciones del SIVE destaca por su robustez y capacidad de adaptación. Combina fibra óptica, radioenlaces de microondas y satélites, de modo que, si una de estas tecnologías experimenta cualquier alteración, el sistema conmuta automáticamente a la mejor alternativa sin perder cobertura ni información. Según Indra, empresa responsable de gran parte de estos desarrollos, esta redundancia tecnológica es clave para garantizar la vigilancia ininterrumpida a lo largo de toda la costa.

Este modelo se refuerza con inversiones constantes. En 2024, el Boletín Oficial del Estado recogió nuevas licitacio-



Este sistema destaca por su robustez y capacidad de adaptación, **combinando fibra óptica, radioenlaces de microondas y satélites**

nes para ampliar la capacidad móvil del SIVE, incluyendo 43 drones térmicos y, una parte muy relevante, la formación específica de operadores.

Asimismo, la Guardia Civil ha incorporado sistemas de análisis automatizado de la información captada por el sistema para incrementar la seguridad frente a ciberamenazas, reforzando aún más la protección frente a riesgos emergentes.

Hacia el futuro: IA, MANET y criptografía poscuántica

El SIVE continúa en pleno proceso de

modernización. Fuentes del Ministerio del Interior y presentaciones realizadas en foros como FEINDEF apuntan a que las próximas mejoras incluyan redes móviles ad-hoc (MANET) para drones y vehículos, garantizando las comunicaciones aún ante imprevistos o ausencia de infraestructura fija.

También se está avanzando en la adopción de criptografía resistente a la computación cuántica, con proyectos pioneros en distribución cuántica de claves (QKD) como el desarrollado en Canarias.

El empleo de Inteligencia Artificial para la detección autónoma de patrones o amenazas y la gestión predictiva de recursos completan la hoja de ruta actual, orientada a mantener —y ampliar— la capacidad de anticipación y respuesta rápida ante incidentes cada vez más complejos.

Retos y áreas de mejora

Como cualquier sistema complejo y en continua evolución, el SIVE se enfrenta a desafíos que requieren respuesta constante e inmediata. De forma ocasional, algunos medios y organismos han señalado dificultades puntuales en la operatividad de sensores, necesidades de actualización tecnológica y la importancia de reforzar la formación especializada.

Por otro lado, las últimas licitaciones públicas han generado debate y han supuesto un esfuerzo adicional para garantizar la transparencia y la eficiencia de los procesos de modernización. Sin embargo, tanto la Guardia Civil como el Ministerio del Interior mantienen su compromiso con la mejora continua, con la renovación de equipos y con la actualización de los procedimientos operativos, priorizando la inversión en innovación y capacitación.

Las auditorías y revisiones periódicas a las que se somete el sistema contribuyen a mantenerlo al más alto nivel, adaptándolo a las cambiantes demandas de la vigilancia fronteriza en una situación geoestratégica especialmente compleja.

En resumen, el SIVE es mucho más que una red tecnológica: es una infraestructura estratégica cuya eficacia se apoya en la colaboración entre organismos, la apuesta por la innovación y el compromiso de los profesionales que lo gestionan. Gracias a su evolución, España protege eficazmente sus fronteras, salva vidas en el mar y se mantiene a la vanguardia europea. El futuro pasa por seguir perfeccionando esta combinación de tecnología avanzada, coordinación institucional y mejora permanente, en un entorno donde la vigilancia y la seguridad se renuevan día a día. ▀



TERESA PASCUAL OGUETA.
Ingeniera de Telecomunicación.

Previsible, ¿Inevitable?

Los acontecimientos desconcertantes de estos primeros meses del año se veían venir. Ha sorprendido la rapidez, **brusquedad y dureza de las decisiones** que se han tomado en el país más poderoso del mundo.



A pesar de la imagen de caos e improvisación que se proyecta, la realidad es que las decisiones que se toman pretenden la consecución de unos objetivos que estaban definidos hacía tiempo. No se trata de decisiones improvisadas; por el contrario, se pretende cambiar las reglas según un esquema detallado previamente. Las consecuencias derivadas de estas acciones ya nos están afectando en este lado del océano.

Tiempo de cambio

Había elementos para saber que habría decisiones controvertidas, si las elecciones del pasado noviembre en Estados Unidos las ganaba el Partido Republicano. El objetivo político a lograr está definido desde 2022 con el soporte de la Fundación

Heritage. Se trata del Proyecto de 'Transición Presidencial 2025', abreviadamente, Proyecto 2025. El documento, a lo largo de sus 900 páginas, desgana propuestas políticas concebidas para cambiar radicalmente el Gobierno Federal del país.

Es un proyecto que propone, entre otros puntos, la concentración en el presidente de todo el poder ejecutivo, políticas migratorias que permiten las deportaciones masivas, restauración de los valores conservadores en el matrimonio, restricciones en derechos reproductivos y civiles, reducción de compromisos internacionales y aumento del presupuesto de defensa. Políticas que se van desgarnando en los últimos meses. Decisiones que afectan también a los

países europeos, que se ven obligados a cambiar sus políticas, y no solo como consecuencia de los aranceles.

Nueva coyuntura

La consigna es que Europa tiene que aumentar su presupuesto en defensa. En palabras del comisario de Defensa de la UE: *"Por supuesto, nuestra seguridad depende de muchos factores, como el cambio climático o el terrorismo, pero también en gran medida de nuestra preparación para la defensa. Y esta tiene una descripción muy clara. Significa contar con suficientes capacidades, que generalmente se miden por el número de tanques, piezas de artillería, drones y similares, que se utilizan en operaciones reales"*.

En esa relación se omite un elemento fundamental. Faltan las personas, que son quienes en un porcentaje alto perderán la vida en el conflicto. Personas que manejarán esas armas y también las que serán, sin importar su edad, víctimas de las mismas. Personas que ha habido que parir, cuidar, curar y educar durante años para que puedan llegar a ser adultas.

Las familias necesitan invertir tiempo, dinero y trabajo continuado para esta tarea, que no refleja el PIB; que no se tiene en cuenta. Cuando las guerras terminan, se invierte en la reconstrucción de las infraestructuras, que es lo único que se puede recuperar. Las vidas perdidas y las dañadas son la semilla de la próxima contienda. El terror que se está viviendo tan cerca de aquí, y lo que empezamos a vislumbrar para el futuro más cercano, produce desazón. ▴

Las familias necesitan invertir tiempo, dinero y trabajo continuado para esta tarea, que no refleja el PIB



Colegio Oficial
Ingenieros de
Telecomunicación

Asociación Española
Ingenieros de
Telecomunicación

Tu voz en la Revista BIT

Si tienes un tema de actualidad en telecomunicaciones que te apasione y quieres darlo a conocer al colectivo, no dudes en proponernos tu idea de artículo.

Esríbenos a comunicaciones@coit.es





Patricia Heredia Gil.

Ingeniera de Telecomunicación y divulgadora.

Ingeniera por vocación, divulgadora por convicción

En esta sección que dedicamos a conocer mejor los perfiles profesionales de nuestros compañeros, le toca el turno a Patricia Heredia Gil, Ingeniera de Telecomunicación y divulgadora.

En mi casa siempre hubo tecnología, aunque en mi familia nadie se dedicaba a ese mundo. Grabadoras de audio, reproductores de diapositivas, cámaras de vídeo enormes... Mi padre revelaba fotos en casa. El primer ordenador que entró por la puerta fue un Amstrad CPC 464. Yo tendría unos cinco años, y aún recuerdo cómo los juegos tardaban en cargarse lo mismo que yo en merendar. Para cuando aparecía el logo en pantalla, ya tenía las manos limpias y la cara llena de Nocilla.

En el instituto trasteaba con un Pentium 75, y gracias a algunas revistas de informática empecé a dar mis primeros pasos en programación. Recuerdo perfectamente esa época en la que se oía en casa "¡Deja el ordenador, que no puedo hablar por teléfono!" cada vez que se conectaba

el módem para navegar. Internet llegaba con su zumbido inconfundible, y con él, una nueva forma de explorar.

Me gustaban mucho las matemáticas y la física. Cuando tocó decidir qué estudiar apunté alto: Ingeniería de Telecomunicación, la carrera con la nota de corte más alta del entonces CPS de Zaragoza. "Vamos a intentarlo", pensé. Y lo intenté. Y lo sufrí. Pero también lo disfruté.

Encender vocaciones

Lo que no sabía entonces es que aquella decisión no sólo me daría una profesión, sino también una manera de entender el mundo. Y que, años después, acabaría usando todo ese conocimiento para diseñar sistemas y para algo que jamás habría imaginado: encender vocaciones.

Estudiar ingeniería prácticamente te garantizaba un trabajo nada más terminar. Y así fue: hice mi primera entrevista antes incluso de presentar el proyecto fin de carrera. Aproveché agosto para irme a Irlanda a mejorar mi inglés. A la vuelta empecé mi primera etapa profesional.

Me estrené programando *firmware* para sistemas embebidos. Apenas conocía Linux ni había trabajado con microprocesadores, así que me tocó aprender a toda velocidad. Autoformarme, cacharrear, probar... y repetir. Aprendí muchísimo y me divertía aún más.

Empecé con sistemas de comunicación para trenes y seguí con el diseño de soluciones de audio sobre *ethernet*. Era ingeniería en estado puro: resolver problemas, pelear-



“Divulgar también es transformar, porque ser ingeniera no sólo es diseñar sistemas, sino también generar impacto”

me con el hardware, ver cómo tus ideas se convertían en algo real. Me retaba a mí misma cada día. Pero pasaron los años y... ¡me ascendieron! Entonces todo cambió.

Pasé al Departamento Comercial. Empecé a gestionar proyectos, asistir a reuniones, mirar más hojas de cálculo que esquemas. Dejé de soldar, de programar. Y empecé a aburrirme.

Casi por necesidad, comencé a montarme mis propios circuitos en casa. Descubrí Arduino, el mundo *maker*, los foros llenos de ideas locas. Y me surgió un pensamiento que no pude quitarme de la cabeza: “¿Cómo me hubiera gustado tener esto de pequeña?” Organicé un taller en una obra social. Vinieron cuatro niños... y una niña. Esa niña se llamaba Valeria. Y fue un flechazo.

Valeria tenía ocho años. Y una chispa en los ojos que reconocí enseguida: curiosidad de la buena. Me dijo que aprendía a programar con tutoriales en YouTube, pero que “el señor que lo explicaba era superaburrido”. Y yo, que estaba reencontrándome con la parte más creativa de la tecnología, detecté en ella la mejor excusa para seguir explorando.

Empezamos a vernos cada día en Mini-Vinci, un pequeño espacio educativo que fundé tras dejar mi trabajo y lanzarme a emprender. Quería acercar la tecnología a niños y niñas desde la experimentación. Sin quererlo, se convirtió en mi nuevo la-

boratorio. Volví a disfrutar como ingeniera, pero también descubrí algo nuevo: me encantaba mostrarlo. Crear experiencias para que otros vivieran ese “¡ajhh!” que tantas veces había sentido yo.

En el Women Techmakers de Zaragoza de 2017 dimos nuestra primera charla juntas. Mostramos con vídeos lo que hacíamos cada día. Lo que pasó después fue increíble: familias y niñas se acercaron a interesarse por lo que habíamos mostrado. Ahí supimos que teníamos que compartirlo. Que era incluso egoísta no hacerlo.

Así nació ValPat, de Valeria y Patricia. Empezamos enseñando robótica, programación, matemáticas y diseño 3D, pero lo que hacíamos era contar historias. Historias que mostraran que la tecnología también es cosa de niñas. Que no hace falta ser un genio ni tener un laboratorio propio. Que se puede aprender desde casa, con ganas y con humor.

Me sorprendió la cantidad de estereotipos que aún siguen presentes. Nos preguntaban si Valeria era mi hija. Si sabíamos de lo que hablábamos. Si alguien nos ayudaba ‘por detrás’. Y ahí entendí que el proyecto iba mucho más allá de programar: era una forma de visibilizar, de inspirar, de abrir puertas.

Lo que empezó como una aventura se ha convertido en un proyecto STEM con cientos de miles de seguidores. Colaboramos con colegios, universidades, em-

presas tecnológicas y grandes organizaciones comprometidas con la igualdad y la innovación. Pero seguimos haciendo lo mismo de siempre: contar historias, inventar, reírnos de los errores... y recordar que la tecnología es una herramienta al servicio de las personas.

Hoy ValPat es mucho más que un canal. Es una comunidad que crece cada día: familias, profesorado, estudiantes, futuras ingenieras... Compartimos vídeos sobre proyectos de IA, electrónica, programación... pero lo que nos mueve es algo más profundo: despertar vocaciones y demostrar que aprender tecnología también puede ser emocionante.

Hemos colaborado con Google, Meta, Microsoft, Telefónica o la Unesco. Sin embargo, lo más importante ocurre en los mensajes que recibimos cada semana: una niña que quiere ser ingeniera, un profesor que usa nuestros vídeos en clase, una madre que nos da las gracias por cambiarle la mirada sobre la tecnología.

Esto me impulsa a seguir. Porque divulgar también es transformar. Porque ser ingeniera no sólo es diseñar sistemas, sino también generar impacto. Y porque, en un mundo cada vez más automatizado, necesitamos referentes humanos que inspiren a construir con sentido.

Miro al futuro con ilusión y responsabilidad. Seguiré creando contenido, colaborando, dando charlas, aprendiendo cada día... y soñando en grande. Hay muchos niños y jóvenes que aún no saben que les apasiona la tecnología. Y si puedo ayudar a que lo descubran... entonces, de verdad, estaré contenta.

A veces me pregunto qué pensaría aquella Patricia que estudiaba Teleco sin saber en qué se estaba metiendo. La que pasaba horas con circuitos, sin imaginar que algún día daría charlas o inspiraría a alguien. Me gustaría decirle que sí, que fue buena idea.

Porque ser ingeniera me enseñó a resolver problemas. Pero divulgar me enseñó a conectar con personas. Y cuando unes ambas cosas, puedes cambiar realidades. ▀

Los Premios a la Excelencia en Ingeniería de Telecomunicación **impulsan el talento joven** en un sector clave para el futuro digital

El Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT) y la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación (AEIT) celebraron el pasado 6 de junio en Madrid el acto de entrega de los Premios a la Excelencia en Ingeniería de Telecomunicación 2024, que este año han alcanzado su XLV edición



Estos galardones reconocen los mejores Trabajos Fin de Máster (TFM), Tesis Doctorales (TD) y Trayectorias Académicas en Ingeniería de Telecomunicación, consolidándose como una de las iniciativas más relevantes para visibilizar el talento emergente en un sector clave para la transformación digital, la competitividad y la sostenibilidad.

El evento, que tuvo lugar en el Instituto de Ingeniería de España, contó con la participación del secretario general de Telecomunicaciones, Infraestructuras Digitales y Seguridad Digital, Matías González Martín, quien subrayó el papel estratégico de la profesión en el avance de la sociedad digital: “Estamos en el centro de la transformación económica y social”.

Una cantera clave para la transformación tecnológica

En un contexto donde el mercado laboral demanda cada vez más perfiles especializados en Inteligencia Artificial, ciberse-

guridad, 5G/6G o computación cuántica -y con una oferta de talento joven insuficiente para cubrir estas necesidades- los Premios a la Excelencia en Ingeniería de Telecomunicación se consolidan como una palanca clave para impulsar vocaciones y reforzar el prestigio del máster habilitante en la profesión.

La decana-presidente del COIT y presidenta de la AEIT, Marta Balenciaga, destacó en su intervención que “estos premios reconocen trayectorias brillantes y una actitud transformadora: la voluntad de poner la tecnología al servicio de las personas. Donde hay un reto tecnológico, ahí estamos los Ingenieros de Telecomunicación”.

El secretario del COIT, Francisco Javier Gabiola, presentó durante el evento las cifras de estos premios y puso en valor el crecimiento constante de la calidad y el interés de los trabajos recibidos.



La edición de este año ha registrado una elevada participación: 22 tesis doctorales (73% hombres, 27% mujeres); 42 trabajos fin de máster (64% hombres, 36% mujeres), y 11 trayectorias académicas (73% hombres, 27% mujeres).

En total, se han presentado candidaturas de 20 universidades de todo el país. El proceso de evaluación ha implicado 808 evaluaciones, con el trabajo riguroso de un nutrido panel de 189 evaluadores y un jurado compuesto por destacados representantes del ámbito académico.

Un acto de reconocimiento colectivo

El acto fue conducido por la tesorera del COIT, Raquel Mora, y contó con la participación de Adrián Nogales, director de Relaciones Institucionales del COI, y las intervenciones de María Luz García de Castro (Head of People de Ericsson España),

Carmen Sánchez Zas (en representación de los premiados) y Sonia Solera Cotanilla (miembro de los Grupos de Trabajo Horizonte STEM y Jóvenes del COIT). El evento fue clausurado por el secretario general de Telecomunicaciones, Matías González Martín.

Participaron en el jurado representantes de los siguientes centros y universidades:

- **Francisco Javier Martínez Guardiola** (Universitat d'Alacant).
- **Bernardo Alarcos Alcázar** (Universidad de Alcalá).
- **José Antonio Ballesteros Garrido** (Universidad de Castilla-La Mancha).
- **Miguel Ángel Ferrer Ballester** (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria).
- **Francisco Javier Cañete Corripio** (Universidad de Málaga).
- **Pedro Miguel Núñez Trujillo** (Universidad de Extremadura).
- **María Ángeles Quintela Incera** (Universidad de Cantabria).
- **Jaime Laviada Martínez** (Universidad de Oviedo).
- **José Ramón Gallego Martínez** (Universidad de Zaragoza).
- **Alejandro Álvarez Melcón** (Universidad Politécnica de Cartagena).
- **David Fernández Cambronero** (Universidad Politécnica de Madrid).
- **Juan Carlos Iriarte Galarregui** (Universidad Pública de Navarra).
- **Cristina Perfecto del Amo** (Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea).
- **Ramón de la Rosa Steinz** (Universidad de Valladolid).

Con esta edición, los Premios a la Excelencia en Ingeniería de Telecomunicación refuerzan su papel como herramienta de promoción del talento, el reconocimiento académico y el impulso de nuevas generaciones de profesionales que liderarán los grandes retos tecnológicos de los próximos años.

Premiados en la XLV edición

Mejores Tesis Doctorales

- Premio COIT-AEIT: Ginés García Contreras. Universidad Autónoma de Madrid.
- Premio HISDESAT: Vicente Nova Giménez. Universitat Politècnica de València.
- Premio HISPASAT: Mohamed Malki. Universidad de Alcalá.
- Premio ISDEFE: Carmen Sánchez Zas. Universidad Politécnica de Madrid.
- Premio Real Academia de Ingeniería: Alicia Flórez Berdasco. Universidad de Oviedo.

Mejores Trabajos Fin de Máster

- Premio CBNK: Roberto Lama Rodríguez. Universidad de Sevilla.
- Premio COIT-AEIT: Manuel Jerez González. Universidad de Sevilla.

- Premio HISDESAT: María Guijarro Maortua. Universidad Politécnica de Madrid.
- Premio HISPASAT: Juan Elías Galeote Cazorla. Universidad de Granada.
- Premio IN-NOVA: Javier Aday Delgado Soto. Universidad Autónoma de Madrid.
- Premio REINTEL: Sergio Micó Rosa. Universitat Politècnica de València.

Mejores Trayectorias Académicas

- Premio Fundación Mutualidad de la Ingeniería: Ángela Isla Calvo. Universidad de Cantabria.
- Premio HUAWEI: Enrique Sánchez Cardoso. Universidad de Sevilla.

Mención Especial Teleco Renta

- Sergio Tirado Rosales. Por su aplicación '¿Quién quiere ser teleco?'.



Cómo **invertir con criterio** en tiempos inciertos: claves para ingenieros que quieren dar sentido a su patrimonio

En un contexto global marcado por tensiones geopolíticas, volatilidad económica y nuevos desafíos, invertir con criterio se ha convertido en una necesidad estratégica. Bajo esta premisa se desarrolló la mesa redonda coorganizada con CBNK en su Espacio de Madrid, que acercó a los Ingenieros de Telecomunicación claves prácticas para gestionar su patrimonio con sentido.

Cinco expertos de CBNK compartieron su visión sobre la coyuntura macroeconómica actual y las oportunidades más relevantes para el ahorro y la inversión privada. Un enfoque especialmente interesante para profesionales habituados a trabajar con datos y eficiencia, como es el caso de los ingenieros e ingenieras de telecomunicación.

El análisis destacó el papel creciente de la renta fija como herramienta para preservar el ahorro en un entorno de tipos de interés elevados y crecimiento moderado. La construcción de carteras diversificadas, con deuda pública y corporativa de alta calidad, se perfila como una opción lógica y prudente.

Por su parte, la renta variable sigue ofreciendo oportunidades a largo plazo, siempre que se planifique con una estrategia clara y diferenciando entre inversiones estructurales y tácticas.

El mensaje clave de la jornada fue el de avanzar hacia una inversión con propósito: definir objetivos personales y diseñar estrategias financieras alineadas con ellos. No se trata de convertirse en expertos financieros, sino de aplicar el mismo rigor que los ingenieros emplean en su día a día. Porque, en un mundo cambiante, una buena planificación es la mejor base para construir un patrimonio sólido y con sentido.

Radiociencia y doctorado

Una jornada para entender, inspirar y decidir con claridad

El webinar 'Retos, desafíos y satisfacciones de hacer una tesis en Radiociencia' reunió a estudiantes e investigadores interesados en conocer de cerca lo que supone iniciar un doctorado en este campo. La iniciativa fue organizada por URSI España y el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación (COIT), con la colaboración de la Universidad Carlos III de Madrid, el proyecto Teleco Renta y el programa de mentorización Ment-it.

La jornada ofreció un espacio de conversación sincera entre jóvenes investigadores y asistentes, tanto presenciales como online. Moderada por Adrián Amor, miembro del Grupo de Trabajo de Jóvenes del COIT y coordinador del GT Ciencia, la mesa redonda contó con la participación de doctorandos que compartieron sus trayectorias, motivaciones y obstáculos en el camino del doctorado: desde la financiación hasta la presión por publicar, pasando por el valor de los doctorados industriales y las oportunidades de transferencia a la industria.

Los ponentes destacaron que hacer una tesis no es una decisión ligera ni una vía única, pero sí una etapa que puede ser transformadora a nivel personal y profesional. La vocación, la autonomía y el compromiso con el conocimiento son claves, junto con la posibilidad de colaborar con la comunidad científica internacional y de desarrollar competencias transversales como la divulgación, la gestión del tiempo o la comunicación.

La interacción con el público fue uno de los puntos fuertes del evento, con preguntas sobre becas, salidas profesionales, conciliación o primeros pasos para iniciarse en la investigación. La jornada concluyó con un espacio informal de *networking*, reforzando la idea de comunidad entre jóvenes investigadores.



El Colegio **rechaza la moción del Senado** que propone igualar los cuerpos de ingenieros técnicos con los de ingenieros

El COIT manifiesta su rechazo firme a la moción aprobada el pasado 20 de mayo por la Comisión de Función Pública del Senado, que propone estudiar la reclasificación de los cuerpos de ingenieros técnicos y arquitectos técnicos en el grupo A1 de la función pública.

Esta iniciativa, impulsada sin el necesario debate técnico ni consulta con las organizaciones profesionales representativas, pone en cuestión el actual modelo de clasificación en la función pública, basado en la cualificación académica, las atribuciones profesionales y el nivel de responsabilidad asociado a cada cuerpo.

Desde el COIT se considera que cualquier cambio en la estructura de los cuerpos funcionariales debe sustentarse en criterios objetivos, y no en decisiones que puedan desdibujar las diferencias legítimas entre niveles formativos y profesionales.

La Ingeniería de Telecomunicación es una profesión regulada que exige un máster habilitante tras un grado universitario, con una formación avanzada reconocida en el nivel 3 del Marco Español de Cualificaciones para la Educación Superior (MECES) y el nivel 7 del Marco Europeo de Cualificaciones (EQF). Esta cualificación capacita para asumir responsabilidades de dirección, coordinación y diseño integral de sistemas complejos.

Por su parte, las titulaciones de grado habilitante que permiten el ejercicio como ingeniero técnico se sitúan en el nivel 2 del MECES y el nivel 6 del EQF, con competencias plenas en su especialidad, pero con un nivel distinto de profundidad técnica y responsabilidad.

La moción genera un mensaje confuso sobre la equivalencia entre niveles de cualificación que ni la legislación nacional ni los marcos europeos reconocen. Si se llevara a efecto, supondría una desvalorización del esfuerzo formativo y un deterioro de los principios de mérito y capacidad que deben regir el acceso a la función pública. Por ello, defendemos el mantenimiento de la actual clasificación diferenciada entre los cuerpos A1 y A2, que garantiza una función pública basada en la cualificación real.

Además, como miembro activo de la Unión Profesional de Colegios de Ingenieros (UPCI), participaremos en todas las acciones institucionales necesarias para trasladar esta posición en defensa de una función pública profesionalizada y de alto nivel técnico.





JOSÉ MIGUEL ROCA.
Ingeniero de Telecomunicación.

Computación cuántica



Evolución del mercado de las tecnologías cuánticas

Quantum Technology Monitor. April 2024.

McKinsey Digital. 2024. 103 páginas.

Análisis de la evolución del mercado de las tecnologías cuánticas, incluyendo inversiones, panorama competitivo y actividades económicas. Abarca la computación, la comunicación y la detección cuánticas. Muestra también la madurez del ecosistema de las tecnologías cuánticas y su uso en múltiples sectores, aprovechando las aplicaciones actuales de la tecnología y la actividad en materia de patentes y publicaciones. Incluye listados de *startups*, inversiones y actividades económicas relacionadas con la tecnología.

Gran potencial transformador

Embracing the Quantum Economy: A Pathway for Business Leaders.

World Economic Forum y Accenture. 2025. 70 páginas.

Las tecnologías cuánticas presentan un gran potencial transformados para revolucionar los sectores y las economías de todo el mundo en tres áreas clave: computación, detección, y comunicación y seguridad. Estas tecnologías pueden, por ejemplo, optimizar las operaciones empresariales mediante el aprendizaje automático avanzado y las simulaciones, mejorar la detección de enfermedades o garantizar la transmisión segura de datos con una encriptación avanzada, crucial para la ciberseguridad del futuro.



Apuesta cuántica de España y la UE

Tecnologías cuánticas: cómo apostar y acertar desde España y la UE.

Real Instituto Elcano y Tecnalia. 2025. 56 páginas.

Las tecnologías cuánticas representan una oportunidad estratégica para Europa y España. Y esto ocurre en un contexto de competencia global con Estados Unidos y China. Sin embargo, Europa se enfrenta a barreras como la fragmentación regulatoria, la escasez de inversión privada y la falta de una estrategia unificada. Para maximizar su impacto, España debe centrar su apuesta en áreas de alta especialización y menor competencia global. La sensoria cuántica y los chips cuánticos para defensa y biotecnología son algunos ejemplos.

Tecnologías cuánticas para acelerar el desarrollo de Europa

Europe in the Intelligent Age: From Ideas to Action.

World Economic Forum y McKinsey & Company. 2025. 36 páginas.

Ideas para acelerar un entorno de competitividad e inversión en Europa con foco en el impacto tanto a gran velocidad como a gran escala. El informe recomienda una elección estratégica de temáticas y de modelos de éxito; una lista de iniciativas del sector privado para dar un impulso inicial, y diez grandes proyectos del sector público para potenciar el espíritu empresarial, la innovación y la inversión en Europa.

Presenta también cuatro casos de estudio, correspondientes a otras tantas tecnologías: conectividad avanzada, tecnologías cuánticas, Inteligencia Artificial y semiconductores.





Tecnologías cuánticas y líderes TIC

Quantum Technologies: Key Strategies and Opportunities for ICT Leaders.

World Economic Forum y Accenture. 2025. 26 páginas.

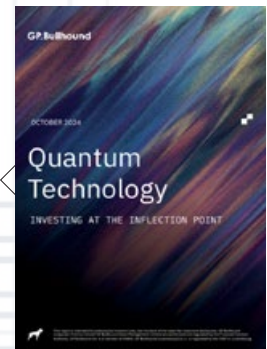
Los rápidos avances en tecnologías cuánticas presentan importantes oportunidades y retos para el sector de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). El informe destaca las ventajas y aborda los riesgos de los avances, ofreciendo posibles soluciones basadas en el estudio de casos de uso y en opiniones de expertos.

Ideas para los inversores

Quantum Technology – Investing at the Inflection Point.

GP Bullhound. 2024. 26 páginas.

Las tecnologías cuánticas han pasado recientemente del terreno de la ciencia ficción a estar a punto de tener la capacidad necesaria para transformar el mundo. El informe analiza esta tecnología emergente y explica por qué ahora es el momento de tomarla en serio, incluyendo ideas dirigidas a los inversores, que reconocen cada vez más el lucrativo potencial de las tecnologías cuánticas y que deben sopesar las oportunidades frente a los riesgos en toda la cadena de valor cuántica.



FUNDACIÓN
**MUTUALIDAD DE
LA INGENIERÍA**



Quiénes
somos

*La Fundación Mutualidad de la Ingeniería, creada en 2020 por la Asociación Mutualidad de la Ingeniería (AMIC), heredando de ella su carácter mutualista y como socio de AVANZA Previsión, su negocio asegurador. Con el espíritu mutualista, apoyamos al mundo de la ingeniería realizando actividades de **fortalecimiento institucional** y apoyando al talento joven.*

Impulsamos
talento
y excelencia

Premio Fundación
Mutualidad de la
Ingeniería

Premio Rafael
Ceballos



Patrocinio de actividades en
organizaciones de la
ingeniería

Becas para
estudiantes de
ingeniería



GALICIA

‘La digitalización del patrimonio inmaterial’ fue el eje de la jornada virtual celebrada el pasado 28 de mayo en el marco de los encuentros que anualmente organizan PuntoGal y el Colegio Oficial y Asociación de Ingenieros de Telecomunicaciones de Galicia (COETG/AETG) con motivo del Día Mundial de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, y el Día de las Letras Gallegas. La sesión contó con la participación del Museo del Pueblo Gallego, entidad que mantiene el APOI, el programa de digitalización, catalogación, estudio y difusión del patrimonio inmaterial puesto en marcha en abril de 2007.



MADRID

El pasado 3 de abril la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación en Madrid (AEIT-Madrid) celebró la jornada ‘El papel del Ingeniero de Telecomunicación en las infraestructuras y edificios inteligentes’. El evento, que tuvo lugar en la sede de la Asociación, contó con la participación de Mónica de Francisco, directora de Infraestructuras Inteligentes para Edificios en Siemens España, quien compartió su experiencia y visión sobre el futuro de las infraestructuras tecnológicas.

ANDALUCÍA OCCIDENTAL Y CEUTA

La vigésima tercera edición de la Noche de las Telecomunicaciones y Sociedad de la Información de COITAOC-ASITANO cumplió con el objetivo de reunir a representantes y profesionales de administraciones, entidades y empresas del sector TIC, en un entorno colaborativo y de negocio para favorecer el cambio hacia un modelo más innovador en Andalucía. El evento coincidió además con la conmemoración del 20º Aniversario de la constitución de la Demarcación de Andalucía Occidental y Ceuta del COIT, y también acogió el acto de entrega de los Premios ‘Andaluces de Telecomunicaciones 2025’.



ASTURIAS

El pasado 9 de mayo tuvo lugar en Oviedo la III Feria de la Ciencia y la Innovación de Asturias. Organizada por el Gobierno del Principado de Asturias y sus agencias de investigación/transferencia (Sekuens, FICYT, CEEI), contó con el apoyo del decano delegado del COIT en Asturias, Fernando Luis de Las Heras, y con la de la Delegación de la AEIT en Asturias, que coordinaron la participación en stand en el que colaboraron varios investigadores Ingenieros de Telecomunicación exponiendo avances científico-tecnológicos.

CANARIAS

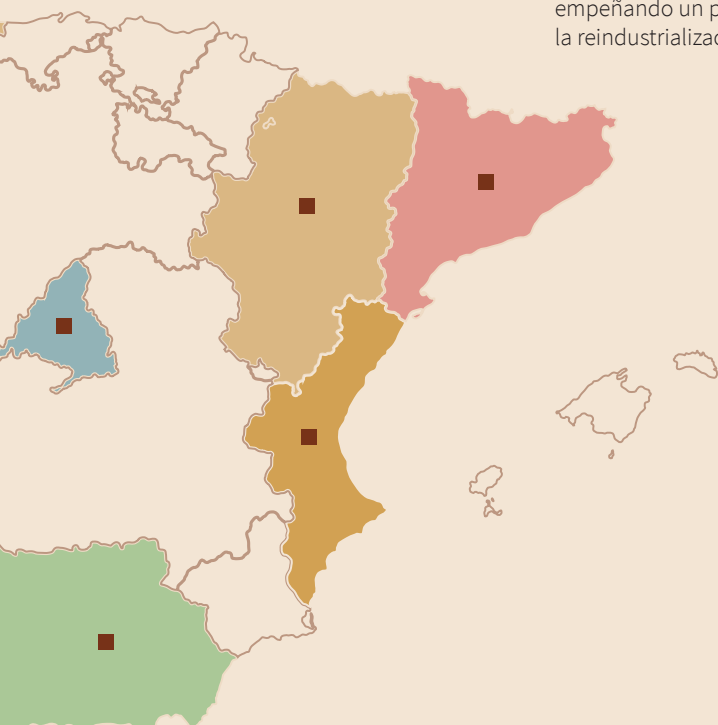
La Asociación Canaria de Ingenieros de Telecomunicación junto con la demarcación del COIT en Canarias, en colaboración con la Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Electrónica (EITE) de la ULPGC y la empresa Tinkers, participaron durante los meses de abril y mayo en Lanzarote, La Palma y La Gomera en las Miniferias de la Ciencia y la Innovación, realizando talleres en centros educativos sobre Inteligencia Artificial, circuitos electrónicos y la experiencia visual de la realidad virtual.





CATALUÑA

El catedrático Francesc Torres Torres será, de nuevo, el rector de la UPC, en esta ocasión para los próximos seis años, según los resultados definitivos de las votaciones que han tenido lugar del 13 al 16 de mayo. Torres ha sido elegido con el 53,280% de los votos ponderados. Francesc Torres ha valorado los resultados y ha afirmado que “hemos conseguido hacer una propuesta ilusionante que ha recibido el apoyo mayoritario de la comunidad universitaria. La UPC debe seguir desempeñando un papel fundamental en la reindustrialización de nuestro país”.



ARAGÓN

La demarcación del COIT en Aragón ha sido distinguida con la ‘C de Calidad Comunicativa’, un reconocimiento otorgado por el Colegio Profesional de Periodistas de Aragón a organizaciones que destacan por una comunicación ética, rigurosa y socialmente responsable. Este distintivo acredita que las prácticas comunicativas de la demarcación cumplen con los principios recogidos en el Código Deontológico de la FAPE: veracidad, transparencia, rigor y compromiso social.



ANDALUCÍA ORIENTAL Y MELILLA

La empresa emergente premiada en la XXI Noche de las Telecomunicaciones del COIT en Andalucía Oriental y Melilla ha sido AGPhotonics, por su carácter innovador y su apuesta decidida por el desarrollo de tecnologías punteras basadas en la fotónica. Fundada por un grupo de Ingenieros de Telecomunicación formados en la ETSI de Telecomunicación de la Universidad de Málaga (UMA), AGPhotonics representa una nueva generación de talento andaluz que está llevando la investigación y la innovación tecnológica a lo más alto.



COMUNIDAD VALENCIANA

Apostar por el ingenio y la innovación de las telecomunicaciones como motor clave en la era de la Inteligencia Artificial ha sido el eje central de la 27ª edición de Noche de las Telecomunicaciones Valencianas (NTV). Bajo el lema “Talento que conecta, inteligencia que transforma” la gala se ha celebrado un año más en l’Hemisfèric de la Ciudad de las Artes y las Ciencias de València, un encuentro que ha logrado reunir a cerca de medio millar de profesionales y personas ligadas al sector ‘teleco’ en la Comunitat Valenciana.



ÓSCAR GARCÍA.

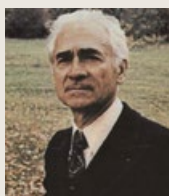
➤ 2025, estupenda añada de aniversarios musicales



Giovanni Pierluigi da Palestrina (1525-1594).

500 años se cumplen del nacimiento del genial compositor religioso y renacentista italiano. Da Palestrina elevó la polifonía y el contrapunto

a 'una conversación con el Divino'. Su obra más conocida, la 'Misa del Papa Marcelo', de belleza desnuda y serena, aún lo complejo y lo comprensible, como estableció el Concilio de Trento (es recomendable la grabación del King's College Choir de Cambridge). Otras obras para levitar son su emotivo y profundo Stabat Mater y su motete Sicut Cervus.



Maurice Ravel (1875-1937).

Se conmemoran 150 años de su nacimiento. Su fama radica en sus innovadoras orquestaciones y su colorismo impresionista,

a semejanza de la pintura en Monet o Degas. Siendo el 'Bolero' su composición más conocida (buscar en Youtube: 'Bolero', Orquesta Sinfónica Danesa, Sergiu Celibidache, director, 1971), su catálogo alcanza más de 100 obras, incluidos ballets, como 'Daphnis y Chloé', o piezas para piano, como la elegante 'Pavana para una infanta difunta' (1899), orquestada tiempo después.



Georges Bizet (1838-1875).

A 150 años de su fallecimiento, y conocido principalmente por su ópera 'Carmen', uno de los pilares del repertorio en los teatros de todo el mundo (recomendables las grabaciones de Teresa Berganza de 1978, junto a Plácido Domingo y la Sinfónica de Londres, dirigida por Claudio Abbado), el genio francés compuso la imponente 'Los pescadores de perlas', en la que destaca la bellísima 'Je crois entendre encore' (recomendable cualquier versión de los tenores Alfredo Kraus o Nicolai Gedda).



JOSÉ MONEDERO.

➤ Valencia exuberante

Nuestra diva del Mediterráneo, Valencia, ofrece una amplia oferta cultural y expositiva que se desparrama por sus plazas y jardines en las que el arte contemporáneo, con la Ciudad de las Artes como máximo exponente, convive con monumentos centenarios, como la Catedral, la Lonja de la Seda, el Mercat Central o el Museo de Bellas Artes.

En la Plaza de Tetuán, y sin salir de la Fundación Bancaja, podemos disfrutar de lo último de nuestra pintora más internacional, Lita Cabellut, de la cromática obra de Úrculo o de las luces que Sorolla captó en las playas del Cabañal y la Malvarosa.

Por su parte, en un edificio cuya rehabilitación ya es en sí misma digna de visitar, el Centro de Arte Hortensia Herrero alberga una espléndida colección de arte contemporáneo con obras de D. Hockney, A. Kiefer, Anish Kapoor, J. Plensa, Calder, Chillida...

Y, por si fuese poco, el colorido barrio del Carmen, protegido por las Torres de Serranos y las de Quart y entre calles vestidas de grafitis, acoge en el IVAM una amplísima colección de obras de Julio González, mientras que en un convento rehabilitado que acoge el CCCC expone hasta el 29 de junio la colección de Carmen Thyssen (siglos XIX y XX).

¿Se puede pedir más?





JOSÉ FERNANDO GARCÍA RÓDENAS.

► Marillion y el resurgimiento del rock progresivo

La huella que dejaron grupos clásicos de rock progresivo como King Crimson, Yes, Genesis, Emerson, Lake and Palmer, Pink Floyd, Camel y otros, parecía que se iba apagando a principios de los años 80 del pasado siglo, pero en 1983 surgió un grupo que iba a marcar una época: Marillion.

El impacto de su primer disco, 'Script For A Jester's Tear' ('Guion para la lágrima de un bufón') causó admiración y no poca controversia entre sus seguidores (¿No eran una copia de los primeros Genesis?). Podríamos considerar ese año como el momento del resurgimiento de este estilo de rock de letras muy cuidadas, portadas maravillosas y música muy elaborada llevada a cabo por instrumentistas virtuosos, que siempre ha sido el sello del rock progresivo.

Marillion lideró esa segunda oleada de grupos de rock progresivo, entre los que cabe citar a IQ, Pendragon, Pallas, Arena, Riverside, Mostly Autumn, The Flower Kings, Porcupine Tree... La fama de Marillion fue trascendiendo tanto por su música como por la teatralización en sus directos que transmitía su cantante y letrista Fish, un poco al estilo de Peter Dinklage, el cantante de Genesis hasta 1975.

Tras cuatro excelentes discos, el tercero de los cuales 'Misplaced Childhood' ('Infancia fuera de lugar') supuso el cenit de fama de Marillion, Fish separó su camino de Marillion y tuvo una muy prolífica etapa productiva en solitario.

Marillion siguen en activo y Fish acaba de despedirse, pero la huella de ambos impregna oleadas posteriores de grupos de rock progresivo (The Dear Hunter, Caligula's Horse, Leprous, Opeth, Frost...) y post-rock (Sigur Ros, Mono, Mogwai,

GodSpeed You! Black Emperor...), a su vez inspirados o influenciados muchos de ellos por Steven Wilson, líder de Porcupine Tree y mago actual del rock progresivo.



ATANASIO CARPENA.

► El último show.

Dirección: Robert Altman, 2006.

La película es un homenaje a un programa de radio y, con ello, a lo que representa la radio en una época y en un lugar, a la par que muestra el fin de los programas radiofónicos de variedades en directo.

Robert Altman falleció el 20 de noviembre de 2006 con poco más de 80 años, pero habiendo terminado su último show, su particular adiós vital concebido como demostración de que el espectáculo debe continuar. Altman nos muestra que lo que se oía a través de los transistores no tenía trampa ni cartón y que podía ser 'visto' perfectamente. Una auténtica delicia de maestro cinematográfico tomando valores de otros mundos y llevándolos a la pantalla con una naturalidad que, si sintonizas, te encandila casi sin darte cuenta.

► Escalofrío en la noche

Dirección: Clint Eastwood, 1971.

En 1967 Eastwood decidió crear su propia productora de cine invirtiendo en ella los ingresos que había obtenido en sus tres años de trabajo en Italia. Así nació The Malpaso Company, un nombre tomado del arroyo (Malpaso Creek) que bordea su propiedad en la localidad de Carmel.

En 1970, con 40 años y 21 largometrajes como actor, decidió dar el salto a la dirección con 'Escalofrío en la noche', película que dio a la estación de radio KRML su correspondiente momento de fama, pues uno de sus fotogramas, con Eastwood detrás del micrófono de KRML, fue parte de la publicidad de la emisora.



Más de cada una de estas películas en la filmoteca del Foro Histórico de las Telecomunicaciones, disponible en la web del COIT.

V CONGRESO DE TELECOMUNICACIONES DEL COIT

Bajo el lema 'Ciudades de Futuro: eficiencia y tecnología', el COIT celebrará su V Congreso en la ciudad de Zaragoza abordando diferentes temáticas sobre el futuro tecnológico de las urbes. Entre ellas, destacan 'Smart Governance e IA', 'Movilidad inteligente y sostenible', 'Eficiencia energética y sostenibilidad urbana', 'Educación y talento digital para las ciudades del futuro' y 'Ciberseguridad'. **24 y 25 de septiembre. Etopía Centro de Arte y Tecnología. Zaragoza.**
<https://congresoscoit.es/>

ENCUENTRO DE LA ECONOMÍA DIGITAL Y LAS TELECOMUNICACIONES

Ametic convoca de nuevo su congreso anual. Es el evento de referencia del sector de la industria digital en España. El lema de la edición de 2025, 'Digitalización, Competitividad e Impacto Social. La gran ecuación', pone de manifiesto las temáticas que abordará el Encuentro. La digitalización de nuestras economías y la capacidad tecnológica de nuestros países se ha convertido en la clave de nuestra competitividad y opciones de liderazgo a nivel mundial. La actual disrupción tecnológica está teniendo un impacto social de gran envergadura. **1 de septiembre. Santander.**
<https://ametic.es/evento/santander-39/>

SMART ENERGY CONGRESS

Es el congreso anual en el que compañías energéticas, industriales y tecnológicas, junto con representantes de la administración pública y consultoras de referencia, comparten visión, analizan retos y reflexionan sobre las oportunidades para avanzar en la *twin transition*. En su edición de 2025, el Congreso se celebra bajo el lema 'Inteligencia Artificial: reimaginando la sostenibilidad', destacando el papel transformador de la IA como catalizador de esta nueva etapa. **8 y 9 de octubre. IFEMA MADRID.**
<https://enertic.org/congreso/>

SMARTCITY EXPO WORLD CONGRESS

Desde 2011, el Smart City Expo World Congress ha sido un catalizador de la transformación de las ciudades, analizando sus desafíos globales y reconociéndolas su papel como actores influyentes en el escenario mundial. En su edición de 2025, abordará nueve temáticas con enfoque práctico para las implementaciones urbanas. **Del 4 al 6 de noviembre. Fira de Barcelona.**
<https://www.smartcityexpo.com/>

GENERA Y MATELEC

Dos ferias que se celebran en paralelo sobre las energías renovables, la electrificación y la descarbonización. GENERA es la mayor plataforma comercial para esta industria de la energía renovable y se celebra con el apoyo del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico). Por su parte, MATELEC reunirá al sector eléctrico, electrónico y de electricidad, convirtiéndose en el lugar de referencia del sur de Europa en tecnología e innovación para la Industria. **Del 18 al 20 de noviembre. IFEMA MADRID.**
<https://www.ifema.es/genera> y <https://www.ifema.es/matelec>

Nueva generación de **OceanStor Dorado** Almacenamiento All-Flash convergente

Impulsando las aplicaciones de misión crítica hacia la era de la IA

Convergente | Resiliente | Agente de IA



iMaster NCE

LÍDERES EN INNOVACIÓN

Huawei, **líder en el 2025 Gartner® Magic Quadrant™** redefine las redes de centros de datos con soluciones inteligentes y sostenibles.

- **Xinghe Intelligent Fabric:** Arquitectura basada en IA (con asistente de resolución de fallos, con protocolos de predicción de comportamiento, con sensórica avanzada en los enlaces) para mantener cero pérdidas y máxima eficiencia en entornos exigentes.
- **CloudEngine XH9330:** El switch Ethernet 800GE con mayor capacidad del mercado.
- **Módulos StarryLink:** Los únicos capaces de detectar pérdidas en enlaces activos, con una seguridad 100% cifrada y un alcance ultra-largo.

Compromiso con el futuro: Huawei impulsa la transformación digital con infraestructuras innovadoras, preparadas para los retos de esta era de la IA.

Comunicaciones ópticas para redes industriales

Impulse la computación con fibra, acelere la inteligencia en la industria de la Inteligencia Artificial con fgOTN

Ancho de banda elástico | Conectividad omnipresente | Confiabilidad ultraelevada



OptiXtrans E6600/E9600

V Congreso Nacional de Telecomunicaciones

Ciudades de Futuro: Eficiencia Tecnológica

Smart
Governance

Movilidad
Inteligente

Conectividad,
Redes 5G/6G e IoT

Eficiencia
Energética

Computación
Cuántica

Educación y
Talento Digital

Gobierno del Dato y
Regulación

Ciberseguridad



**24 - 25
Septiembre**



ZARAGOZA
Auditorio
ETOPIA

€* Colegiados: 60€
No colegiados: 150€

**Impuestos no incluidos*

**Incluye material y servicios asociados al evento*

Inscríbete

