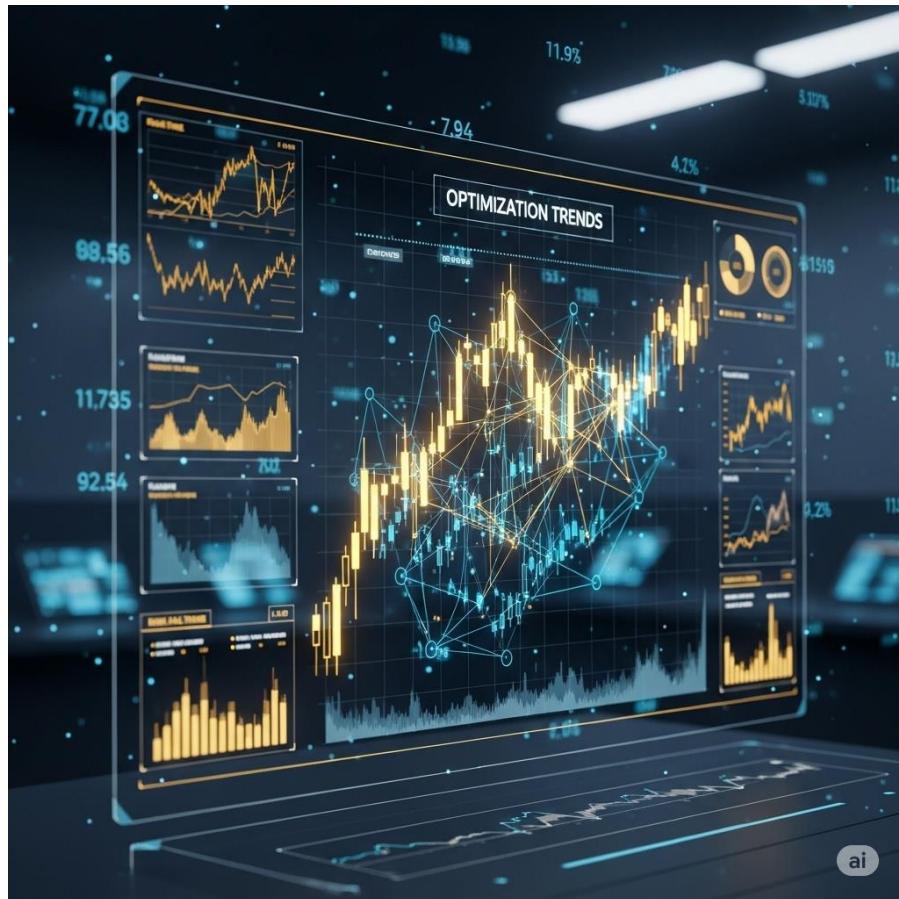




ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica



1. Introducción: De la Promesa Teórica a la Revolución Práctica

A pesar de la complejidad de sus fundamentos, la computación cuántica (CC) no es una mera curiosidad teórica, sino una tecnología con el potencial de transformar radicalmente los sectores técnico-económicos clave.

La historia nos advierte sobre la futilidad de predecir el alcance final de una tecnología disruptiva. Cuando se desarrollaron los primeros ordenadores, como el Colossus británico en 1944, pocos imaginaron su alcance. De hecho, es célebre la predicción atribuida al entonces presidente de IBM, quien vaticinó que el mercado mundial no daría para más de cinco grandes computadoras.

De igual manera nadie que hubiera pronosticado hace 25 años las capacidades de un teléfono inteligente, habría sido capaz de pronosticar su impacto en la sociedad actual, y cuando Theodore H. Maiman construyó el primer rayo láser en 1960, la prensa lo describió como



ACTUALIDAD CIENTIFICA

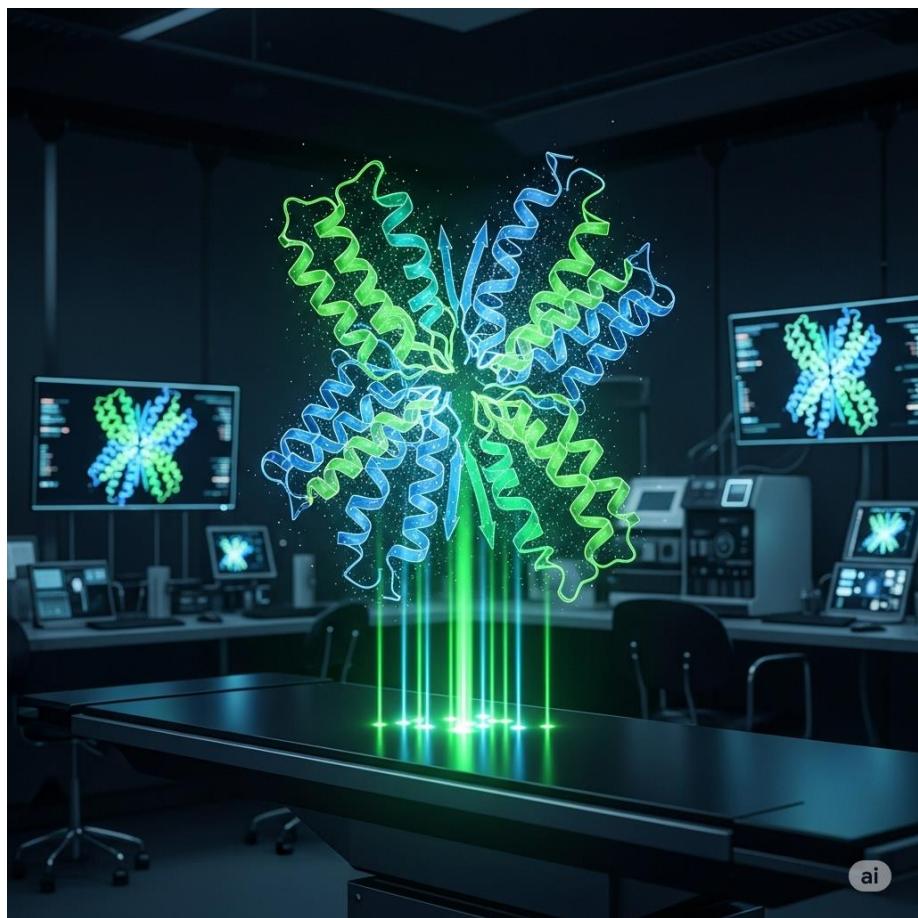
Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

«un remedio para el que no tenemos enfermedad». Hoy, estas tecnologías son el tejido de nuestro mundo.

Estos precedentes históricos nos enseñan una lección de humildad y audacia: las verdaderas revoluciones tecnológicas no solo resuelven problemas conocidos, sino que crean campos de posibilidad enteramente nuevos.

El propósito de este capítulo es, por tanto, explorar el vasto horizonte de aplicaciones que ya se vislumbran, desde la medicina hasta las finanzas, reconociendo que la verdadera explosión de posibilidades es, en gran medida, impredecible.

Iniciaremos este recorrido en el campo donde su impacto será más inmediato y profundo: la ciencia fundamental.





ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

2. Revolucionando la Ciencia Fundamental y el Modelado

No es casualidad que la ciencia fundamental — química, física y matemáticas — sea la primera frontera que la computación cuántica está destinada a conquistar.

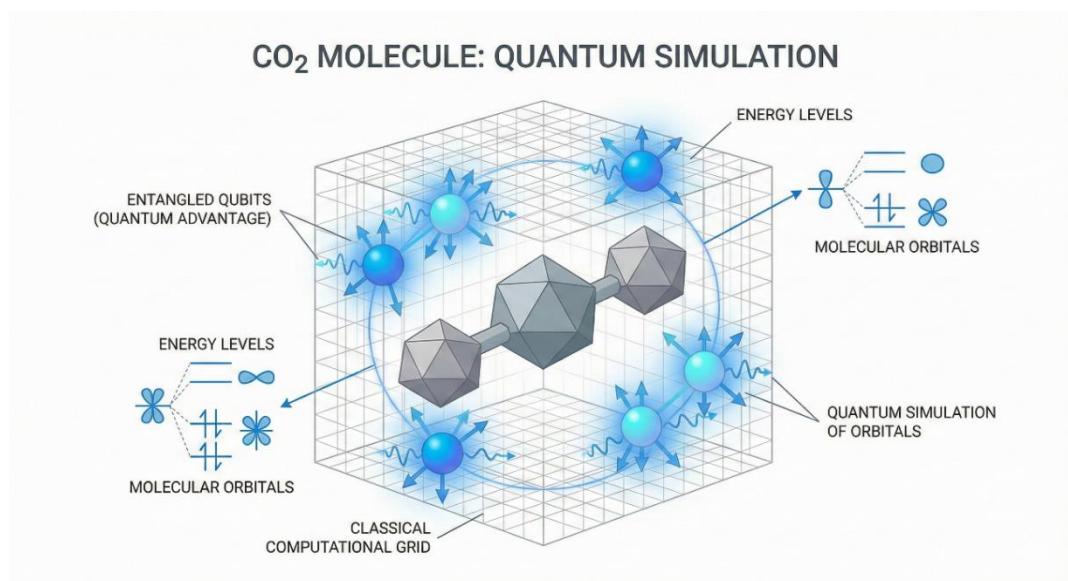
La razón es de una elegancia elemental: estas disciplinas operan bajo las mismas leyes cuánticas que rigen el funcionamiento de los ordenadores cuánticos.

Un ordenador clásico se esfuerza por simular un mundo que le es ajeno, uno cuántico «habla» el lenguaje nativo de la naturaleza a nivel subatómico.

Impacto en la Química Computacional

Históricamente, la química ha avanzado mediante ensayos de laboratorio laboriosos, costosos y, a menudo, basados en el método de prueba y error.

La computación cuántica inaugura una nueva era de **química computacional**, donde la simulación matemática reemplaza al matraz y la pipeta. Los ordenadores clásicos son incapaces de manejar la complejidad de los cálculos a nivel atómico; el análisis completo de una molécula tan simple como el CO₂, incluyendo los orbitales de sus electrones, sus números cuánticos y sus niveles energéticos, requeriría manejar matrices de millones de filas y columnas. La CC permitirá modelizar miles de reacciones a nivel atómico, abriendo la puerta a una nueva química.





ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

Como sentenció Derek Lowe, comentarista de la industria farmacéutica: «No es que las máquinas vayan a sustituir a los químicos. Es que los químicos que utilicen máquinas sustituirán a los que no lo hagan».

El Papel en la Física Fundamental

Para los físicos, los ordenadores cuánticos se convertirán en una herramienta indispensable para manejar el **Modelo Estándar**, la teoría que describe las partículas fundamentales y sus interacciones.

Permitirán simular fenómenos aún no resueltos, como la naturaleza de la **materia oscura** y la **energía oscura**, o la misteriosa preponderancia de la materia sobre la antimateria en el universo.

Se aplicarán al análisis de los miles de millones de colisiones de partículas que se generan en experimentos como los del **CERN**, abriendo nuevas ventanas al conocimiento del origen del cosmos. Además, serán cruciales en proyectos de la envergadura del reactor de fusión nuclear **TOKAMAK** del proyecto **ITER**, que busca replicar la energía de las estrellas en la Tierra.

Potencial en la Resolución de Problemas Matemáticos

La matemática también se beneficiará enormemente. De los 23 grandes problemas que David Hilbert propuso en 1900 como desafíos para el siglo XX, ocho siguen sin resolverse con la ayuda de los ordenadores clásicos. La CC podría ser la herramienta definitiva para abordarlos.

Un ejemplo comprensible es la **conjetura de Goldbach**, que postula que «cada número par mayor que 2 se puede escribir como suma de dos números primos». Aunque ha sido verificada para números astronómicos, sigue siendo una conjetura sin prueba formal, un desafío perfecto para la capacidad de cálculo cuántico.

Este poder sin precedentes para simular los fundamentos de la materia tiene una aplicación directa y de enorme impacto en el estudio de los sistemas biológicos, llevándonos al campo de la salud.

3. Un Nuevo Paradigma en Salud y Medicina

Las aplicaciones de la computación cuántica en biología y medicina representan una de las áreas de mayor esperanza para la humanidad. La clave de su potencial reside en su capacidad



ACTUALIDAD CIENTIFICA

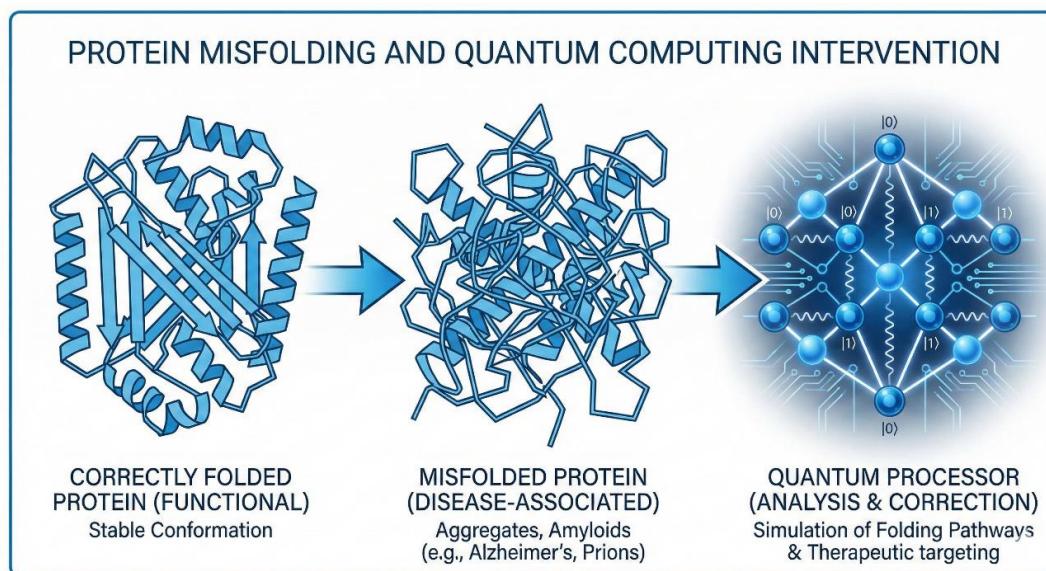
Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

para operar a nivel molecular, donde la vida es intrínsecamente cuántica y los ordenadores convencionales alcanzan su límite.

La CC permitirá estudiar la respuesta de cada célula a estímulos como hormonas o fármacos, facilitando el gran salto que la medicina aún debe dar: los **tratamientos terapéuticos personalizados**.

La Lucha contra las Enfermedades a Nivel Molecular

Muchos de los mayores desafíos médicos actuales se originan en el comportamiento anómalo de las moléculas. La CC nos permitirá comprender y, eventualmente, corregir estos fallos a un nivel fundamental.



- **Proteínas y Priones:** Las proteínas son moléculas complejas que deben plegarse en formas tridimensionales precisas para realizar sus funciones vitales. Cuando las proteínas se pliegan incorrectamente, pueden perder su función o, en casos patológicos como los **priones**, volverse infecciosas y causar enfermedades devastadoras. La complejidad de este proceso es inabordable para los ordenadores clásicos, pero los cuánticos serán esenciales para desentrañar sus mecanismos.
- **ELA:** El síndrome de ELA está ligado al gen SOD1, que produce una proteína cuyo plegamiento incorrecto causa la muerte de las neuronas motoras. La CC es indispensable para trazar la vía molecular de este gen defectuoso y encontrar una cura.
- **Alzhéimer y Párkinson:** El Alzhéimer, causado por el mal plegamiento de la proteína amiloide, podrá ser combatido con mayor precisión al permitir la CC aislar



ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

la molécula exacta que se deforma. En el caso del Parkinson, que también implica proteínas mutadas en el cerebro, se podría clonar la versión correcta de estas proteínas para reinyectarla en el cuerpo como tratamiento.

- **Cáncer y Genética:** La CC permitirá desarrollar modelos mucho más completos del crecimiento de células cancerígenas. Un ejemplo clave es el gen **p53**, «el guardián del genoma», implicado en casi la mitad de los cánceres comunes. La combinación del poder de análisis de la CC con tecnologías de edición genética como **CRISPR** podría permitir corregir los errores en este gen, curando potencialmente muchas formas de cáncer.

Otros Avances Médicos Prometedores

Más allá de estas enfermedades, la CC mejorará el desarrollo de **nuevos antibióticos** al permitirnos comprender sus mecanismos moleculares.

También abre la puerta al estudio de nuevas proteínas para tratar intolerancias como la **celiaquía**.

Finalmente, en neurociencia, se plantea la hipótesis de que el cerebro podría ser un sistema cuántico, lo que nos permitiría empezar a entender fenómenos tan profundos como la sincronización neuronal y el origen de la **conciencia**.

Si a nivel molecular la computación cuántica promete reescribir el futuro de la salud humana, su capacidad para manejar la complejidad a gran escala la posiciona como una herramienta indispensable para afrontar los retos que enfrenta nuestra civilización a nivel planetario.

4. Optimizando Sistemas Globales y Retos Planetarios

Muchos de los problemas más complejos del mundo —desde la logística global y las finanzas hasta la seguridad alimentaria— son, en esencia, problemas de optimización.

Su escala combinatoria es tan vasta que desborda por completo la capacidad de los superordenadores más potentes. La computación cuántica ofrece la capacidad de cálculo necesaria para navegar esta complejidad.

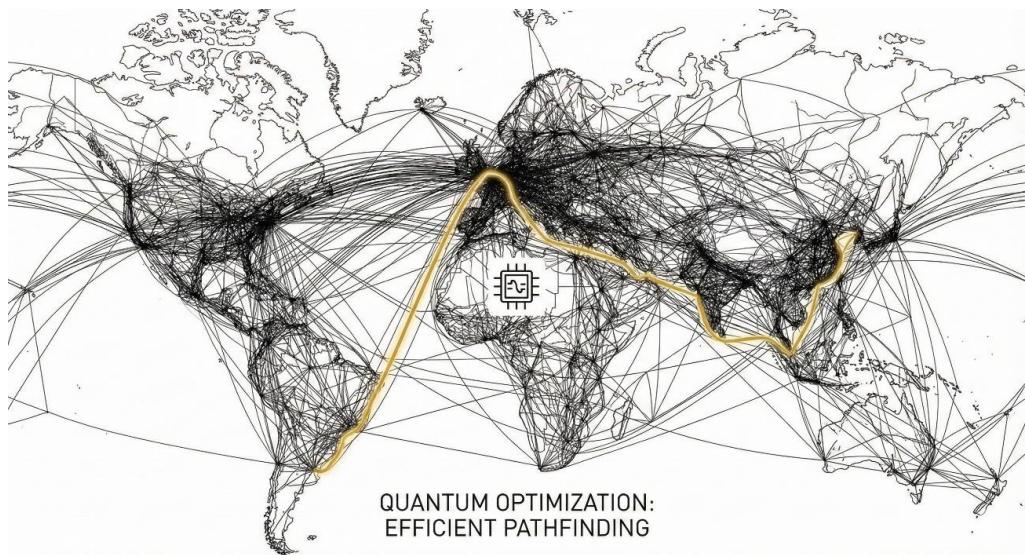
Logística y Finanzas

Un problema clásico de optimización es determinar el recorrido más económico para un vehículo que debe visitar múltiples destinos. El número de combinaciones crece de forma exponencial, volviéndose inmanejable.



ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica



La CC podrá resolver estos problemas a una escala global, permitiendo la optimización de rutas aéreas, la gestión de redes eléctricas complejas o la creación de modelos financieros para la evaluación de riesgos y la optimización de carteras.

En los mercados, se aplicará para predecir comportamientos y maximizar beneficios en entornos de una complejidad abrumadora.



ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica



La Alimentación del Planeta

Este mismo poder de simulación molecular, que puede diseñar fármacos, puede escalar para afrontar retos planetarios que no son más que problemas de química computacional a escala global.

- **Fijación del nitrógeno:** La producción de fertilizantes depende del **proceso de Fritz Haber**, un método centenario que fija el nitrógeno del aire pero que consume enormes cantidades de energía. La CC podría desvelar los secretos de la fijación biológica del nitrógeno para desarrollar fertilizantes más eficientes y sostenibles.
- **Fotosíntesis cuántica:** La naturaleza nos ofrece un ejemplo de eficiencia cuántica a temperatura ambiente: la fotosíntesis. La energía lumínica es transportada por seudopartículas llamadas **excitones** con una eficiencia tan alta que solo se explica mediante las leyes de la física cuántica. Explorar este fenómeno, inaccesible para los



ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

ordenadores digitales, es vital para aliviar el hambre global e incluso se contempla crear una «hoja artificial» capaz de absorber CO₂ y generar energía.

La gestión de estos sistemas globales depende de una red de comunicaciones segura, un campo que la computación cuántica está destinada a revolucionar por completo.

5. La Nueva Frontera de las Comunicaciones y la Ciberseguridad

En el ámbito de la ciberseguridad, la computación cuántica presenta una dualidad fascinante: es, al mismo tiempo, la mayor amenaza conceible para la seguridad actual y la fuente de una nueva generación de comunicaciones impenetrables.





ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

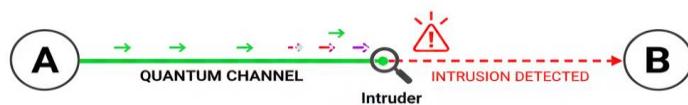
La Amenaza Cuántica a la Criptografía Clásica

Prácticamente todas nuestras comunicaciones seguras, desde un mensaje de WhatsApp hasta las órdenes estratégicas de la OTAN, dependen del cifrado **RSA**. Su seguridad se basa en la dificultad de factorizar números muy grandes. Multiplicar dos números primos de 100 cifras es sencillo, pero realizar la operación inversa le llevaría a un ordenador clásico cientos de años.

Sin embargo, el **Algoritmo de Shor**, diseñado para ordenadores cuánticos, resuelve el problema de la factorización de forma drástica, pasando de un crecimiento exponencial a uno **polinómico, ($\log N$) al cubo**. Esta capacidad convierte al sistema RSA en obsoleto de la noche a la mañana.

La Solución Cuántica: Criptografía y Redes Inexpugnables

La propia física cuántica ofrece la solución a la amenaza que plantea. La criptografía cuántica, en particular el **protocolo BB84**, utiliza los principios fundamentales del comportamiento cuántico para crear un sistema de comunicación inexpugnable.



- **Funcionamiento:** La clave de su seguridad reside en que cualquier intento de interceptar los fotones alteraría inevitablemente su estado cuántico, alertando de inmediato al emisor y al receptor.
- **El Internet Cuántico:** Esta tecnología sentará las bases para el futuro **Internet Cuántico**, donde la información circulará mediante **teleportación**, transfiriendo el



ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

estado de una partícula a otra sin que ninguna partícula viaje físicamente. Este sistema será impenetrable para cualquier hacker y permitirá aplicaciones revolucionarias como la **votación segura y anónima**.

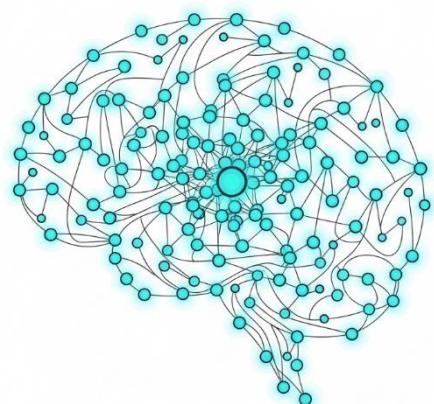
Esta nueva capacidad computacional convergerá inevitablemente con otra tecnología disruptiva: la inteligencia artificial.

6. Potenciando la Inteligencia Artificial (IA)

Tras un «largo invierno» limitado por las restricciones del hardware digital, la Inteligencia Artificial ha experimentado una explosión de desarrollo.

Su unión con la computación cuántica abre un camino extraordinariamente prometedor, ya que la CC no solo le ofrece el «músculo computacional» que necesita, sino un paradigma computacional que, por su naturaleza probabilística, se alinea de forma más natural con los complejos modelos de aprendizaje de la IA.

La CC dará un impulso enorme a la **IA generativa**. Agilizará drásticamente las iteraciones de aprendizaje (descritas por la regla de Hebb) y permitirá el uso de algoritmos matemáticos que eran completamente impracticables con los ordenadores clásicos, llevando el aprendizaje automático a un nivel superior.





ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

Una Herramienta, No una Mente: La Distinción Crucial entre Cálculo e Inteligencia

Es fundamental, sin embargo, establecer una distinción clara: el poder de la computación cuántica es su enorme capacidad de cálculo, no la inteligencia en sí misma.

Aunque los ordenadores cuánticos pueden manejar cantidades ingentes de datos y realizar procesos de **inferencia inductiva**, carecen de mente, intuición o conciencia.

La verdadera inteligencia humana, propia de la **inferencia abductiva**, que permite formular hipótesis creativas a partir de información incompleta, sigue siendo un dominio exclusivo de nuestra mente.

De estas aplicaciones futuras, pasamos ahora a la realidad tangible de la tecnología y la intensa competición geopolítica por su dominio.

7. El Estado Actual y la Carrera Global

La computación cuántica ya no es una fantasía de laboratorio; es el «siguiente salto» en seguridad y estrategia nacional.

En términos comerciales, superar el umbral de los **100 cúbits** se considera el punto de inflexión para que la CC ofrezca una ventaja significativa sobre los sistemas convencionales, un umbral que ya se ha cruzado.

Liderazgo y Ambición:

La carrera global está en pleno apogeo. **China** ha invertido diez mil millones de dólares en su Laboratorio Nacional para las Ciencias de la Información con el objetivo de liderar el campo, mientras que agencias de **Estados Unidos** como la CIA y la NSA siguen de cerca cada avance.

Implementación en Europa:

El avance también es palpable en Europa, donde IBM ha inaugurado centros avanzados como el de Ehningen en Alemania, demostrando la madurez comercial de la tecnología.

La Apuesta Estratégica de España:

De forma destacada, la reciente instalación del **IBM Quantum System Two** en San Sebastián, dotado con un procesador HERON de 150 cúbits, y el ordenador cuántico de



ACTUALIDAD CIENTIFICA

Capítulo III - Aplicaciones de la Computación Cuántica

Barcelona posicionan a **España** dentro de un selecto grupo de potencias tecnológicas en este campo, junto a Estados Unidos, Canadá, Alemania, Japón y Corea del Sur.

La razón de este salto a la computación cuántica es fundamental. La arquitectura clásica, basada en transistores, ha alcanzado sus límites físicos. Con componentes que ya se miden en distancias atómicas, no es posible reducir su tamaño sin que los efectos cuánticos generen errores. La potencia exponencial de los cíbits entrelazados representa la única vía para abordar los desafíos más complejos que la humanidad tiene por delante.

En definitiva, la computación cuántica no es una mera evolución de la capacidad de cálculo. Es una auténtica revolución que, a diferencia de las anteriores, nos permite operar con las reglas fundamentales de la realidad.

Estamos aprendiendo a calcular con el mismo código fuente del universo para resolver nuestros problemas más profundos.

Autores:

*Enrique Reina Reina
Guillermo García Gila
Javier Pérez Sousa
Todos Seniors ICAI*