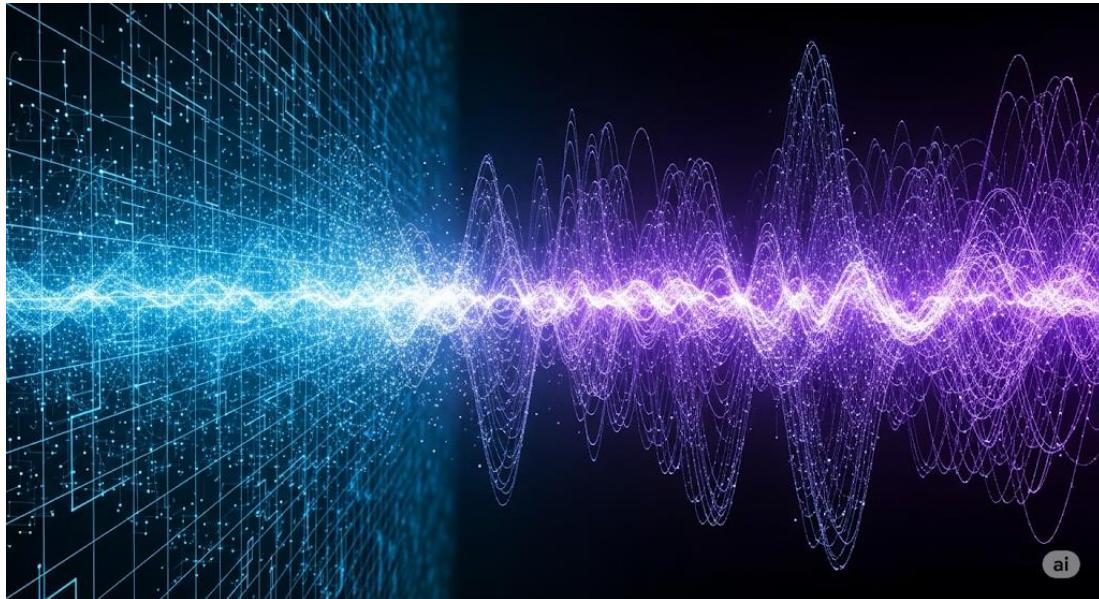




## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal



#### 1. Introducción: Una Nueva Frontera del Cálculo

Nos encontramos en el umbral de una revolución tecnológica de consecuencias difícilmente previsibles, un cambio de paradigma que promete redefinir los límites de lo computable y transformar industrias enteras, desde la medicina hasta las finanzas. Esta nueva frontera es la computación cuántica.

Comprender sus fundamentos no es solo un ejercicio académico, sino una necesidad estratégica para anticipar el profundo impacto que tendrá en la ciencia, la economía y la sociedad.

Este capítulo sienta las bases para entender por qué este cambio no es una simple evolución, sino un salto abismal hacia una forma de procesar la información radicalmente diferente y exponencialmente más poderosa.

La **Computación Cuántica (CC)** se define, en su esencia, de una forma engañosamente simple: es aquella computación que se realiza conforme a las leyes de la física cuántica.



## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

Sin embargo, esta simplicidad esconde una complejidad formidable. La física cuántica, que gobierna el comportamiento de la materia y la energía a escalas atómicas y subatómicas, es célebre por su naturaleza paradójica y su desafío a la intuición humana.

Como afirmó un famoso físico, "*el que salga de una charla sobre física cuántica y diga que la ha entendido es que no ha entendido nada*". Esta frase captura a la perfección la perplejidad que suscita un campo donde las partículas pueden existir en múltiples lugares a la vez o desaparecer de un sitio para reaparecer instantáneamente en otro.

A pesar de esta naturaleza contraintuitiva, es crucial subrayar que la física cuántica no es una mera especulación teórica.

Al contrario, es la ciencia más rigurosamente experimentada del planeta. Sus postulados han sido demostrados y validados miles de veces en laboratorios de todo el mundo, constituyendo el fundamento de tecnologías que hoy damos por sentadas, como los láseres o los transistores.

La aparente contradicción se disuelve cuando comprendemos la raíz de nuestra dificultad para asimilarla: la física cuántica describe un mundo microscópico regido por probabilidades, mientras que nuestra experiencia cotidiana se desenvuelve en un mundo macroscópico, que percibimos como determinista y predecible. Fenómenos como el de un electrón que puede estar en dos sitios a la vez desafían nuestra lógica clásica, pero son realidades empíricas y, más aún, el pilar sobre el que se edifica el poder de la computación cuántica.

Es precisamente esta extraña pero probada realidad del universo la que nos obliga a dar el siguiente paso. Las limitaciones físicas de la computación clásica nos han llevado a un callejón sin salida, haciendo inminente la necesidad de construir máquinas que no luchen contra las extrañas reglas del mundo cuántico, sino que las aprovechen para desatar un poder de cálculo sin precedentes.

### 2. El Ocaso de la Era Clásica: La Necesidad de un Salto Abismal

Durante más de medio siglo, el progreso en el mundo de la computación ha sido sinónimo de un avance constante, predecible y vertiginoso. Sin embargo, esta era dorada está llegando a su fin.

La arquitectura que ha impulsado la revolución digital ha chocado contra las barreras infranqueables de la física, haciendo que el salto hacia un nuevo paradigma no sea una



## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

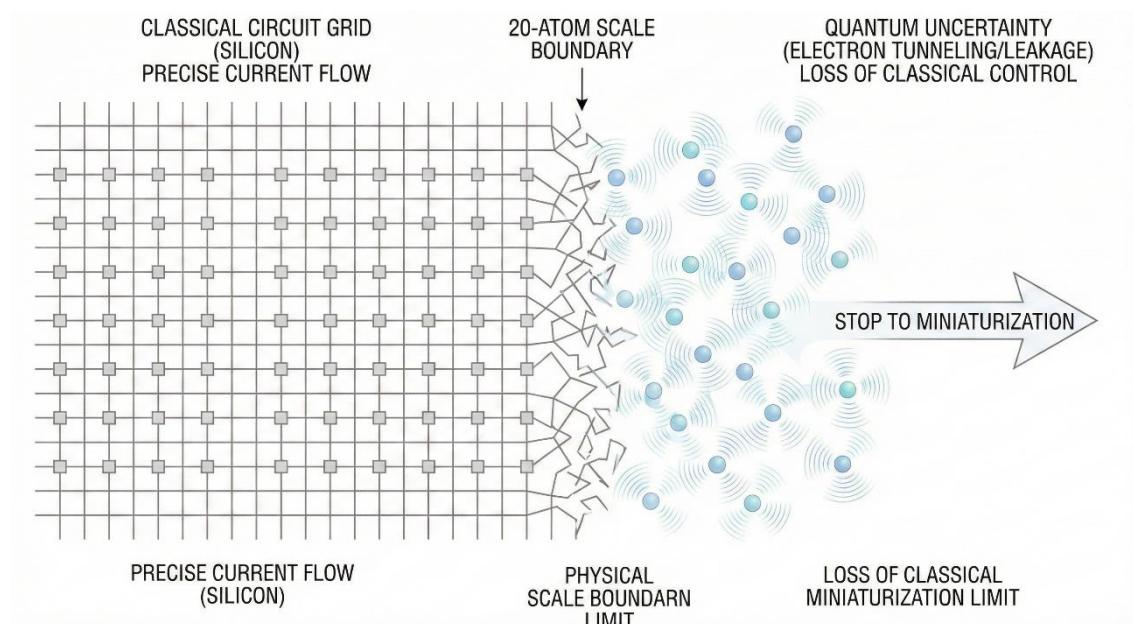
opción, sino una necesidad imperiosa. Esta sección explora el agotamiento del modelo clásico y argumenta por qué el futuro del cálculo exige un cambio radical de tecnología.

El motor histórico de esta progresión ha sido la célebre **Ley de Moore**, que estipula que la potencia de los ordenadores se duplica aproximadamente cada dieciocho meses. Esta ley, más una observación empírica que una ley física, ha descrito con asombrosa precisión la trayectoria de la industria.

Hemos sido testigos de una evolución espectacular: desde los primeros ordenadores, que eran artíluguos mecánicos de engranajes y cilindros, pasamos a sistemas eléctricos basados en relés, luego a la invención del transistor, que lo revolucionó todo, y finalmente a la era de los microchips, que han permitido empaquetar miles de millones de transistores en el tamaño de una uña.

El problema es que esta trayectoria de miniaturización incesante tiene un límite físico inminente. Actualmente, el diseño de microchips ya opera a escalas asombrosas, manejando distancias de apenas veinte átomos de espesor.

Dar un paso más allá en esta reducción de tamaño nos introduce de lleno en el dominio de la incertidumbre cuántica. A estas escalas, la ubicación precisa de los electrones que transportan la información se vuelve incierta, y fenómenos puramente cuánticos como el **efecto túnel** pueden provocar que los electrones atraviesen barreras que deberían ser infranqueables, generando cortocircuitos y errores de cálculo. Los computadores clásicos han alcanzado los límites físicos que les imponen las distancias entre los propios átomos.





## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

La conclusión es ineludible: la arquitectura de la computación clásica "ya no se puede exprimir más". Hemos llegado a un punto en el que para seguir avanzando, no podemos simplemente hacer las cosas más pequeñas; debemos hacerlas de una manera fundamentalmente diferente.

Por esta razón, el salto a la computación cuántica se ha vuelto **absolutamente necesario**. No estamos hablando de una simple innovación o de una mejora incremental. Se trata de un "**salto abismal a otro mundo**", una transición que implica abandonar los principios deterministas de la computación clásica para abrazar la lógica probabilística del universo cuántico.

Para poder dar este salto, el primer paso es redefinir la pieza más básica de la información, el ladrillo fundamental sobre el que se construye todo el edificio computacional.

### 3. La Nueva Moneda de la Información: Bits vs. Cúbits

El corazón de cualquier sistema de computación reside en su unidad de información más elemental. Para comprender la diferencia fundamental entre un ordenador clásico y uno cuántico, es indispensable analizar cómo cada uno codifica, almacena y procesa los datos.

Esta sección presenta el **cúbit**, la pieza clave que distingue radicalmente la computación cuántica, contrastándolo con su análogo clásico, el bit, y sentando las bases para entender su extraordinario potencial.

A pesar de sus profundas diferencias, existe un punto en común fundamental: tanto la computación clásica como la cuántica operan utilizando un sistema binario. Ambas se basan en la manipulación de dos estados fundamentales, que representamos como ceros y unos, para construir estructuras de información cada vez más complejas.

La divergencia radical aparece en la naturaleza física de estos estados y en las reglas que gobiernan su comportamiento.

#### El Bit Clásico: Certeza y Determinismo

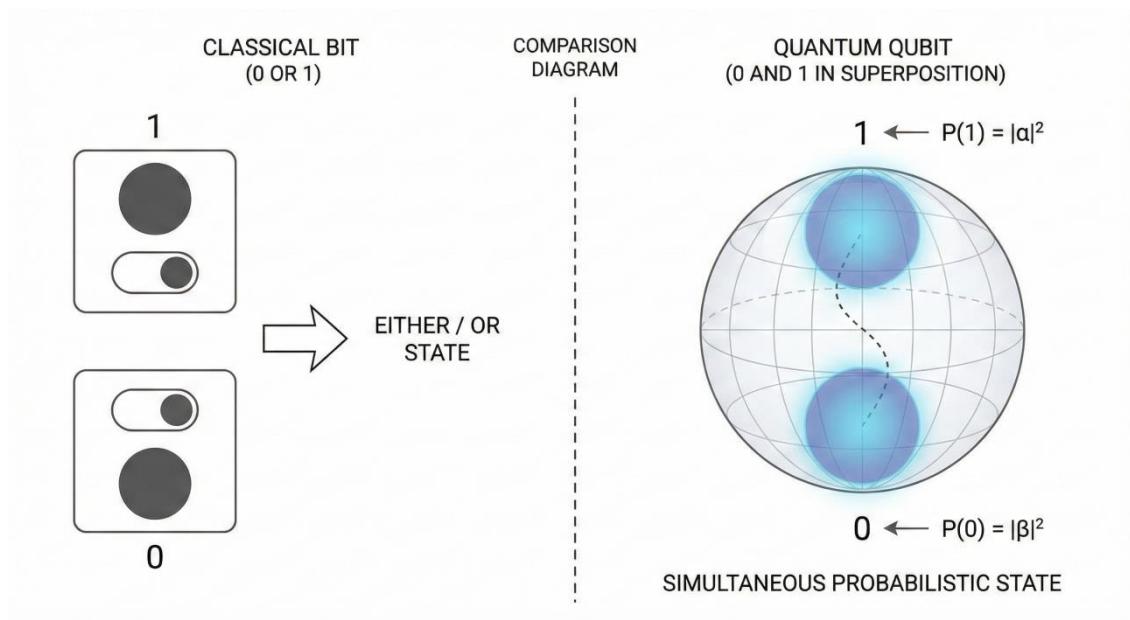
En la computación clásica, la unidad de información se denomina **bit**. Un bit es un sistema que puede existir en uno de dos estados posibles y excluyentes: 0 o 1. Su materialización física es directa y determinista: el cero y el uno corresponden a la **existencia o ausencia de tensión o corriente eléctrica** en un punto específico de un circuito.



## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

Si hay tensión, tenemos un 1; si no la hay, tenemos un 0. No hay ambigüedad. Cada bit en un ordenador clásico tiene un valor definido en todo momento, una certeza que es la base de la lógica con la que operan todos nuestros dispositivos digitales actuales.



#### El Cúbit Cuántico: Probabilidad y Potencial

En la computación cuántica, la unidad de información equivalente es el **cúbit** (del inglés, *quantum bit*). Al igual que el bit, un cúbit puede representar los estados 0 y 1.

Sin embargo, su materialización física se basa en sistemas cuánticos, lo que le confiere propiedades radicalmente nuevas. Las dos formas principales de construir cúbits son:

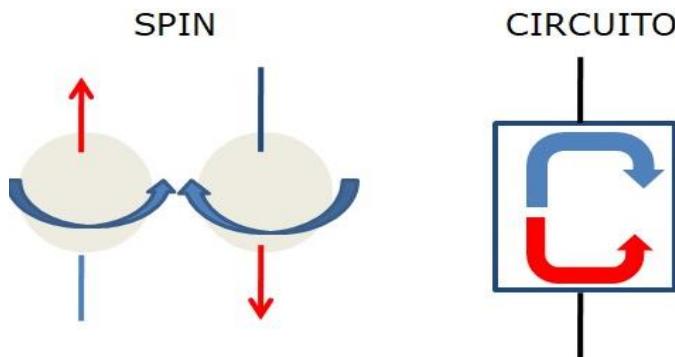
1. **Iones o partículas con espín:** Ciertas partículas subatómicas, como los iones, poseen una propiedad intrínseca llamada espín, que los hace comportarse como pequeños imanes. Pueden girar, figuradamente, "a derecha o a izquierda" (o tener su campo magnético apuntando "hacia arriba o hacia abajo"). Estas dos orientaciones opuestas se asignan a los estados 0 y 1.
2. **Microcircuitos superconductores:** A temperaturas cercanas al cero absoluto, ciertos circuitos eléctricos pierden toda resistencia al paso de la corriente (se vuelven superconductores). En estos microcircuitos, es posible hacer que la corriente eléctrica gire en un sentido o en el contrario dentro de un bucle. De nuevo, estos dos sentidos de rotación corresponden a los estados 0 y 1.



## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

Hasta aquí, la diferencia podría parecer sutil. Sin embargo, la verdadera potencia del cúbit no reside en su capacidad de *ser* un 0 o un 1, sino en los fenómenos puramente cuánticos que le permiten trascender esta dualidad y existir en un estado que es, en cierto modo, ambos a la vez.



Los estados se representan así:

Representación del estado cero,  $|0\rangle$

Representación del estado uno,  $|1\rangle$

Representación de los dos estados superpuestos,  $|0\rangle + |1\rangle$

#### 4. El Poder Exponencial: Superposición y Entrelazamiento

La transición del bit al cúbit no es una mera sustitución de componentes, sino la puerta de entrada a un universo computacional con reglas completamente nuevas.

La inmensa ventaja de los ordenadores cuánticos radica en su capacidad para explotar dos fenómenos exclusivos del mundo cuántico que no tienen análogo en la física clásica: la **superposición** y el **entrelazamiento**.

Estos principios gemelos son los que permiten a las máquinas cuánticas realizar cálculos de una manera intrínsecamente paralela y alcanzar un poder de procesamiento exponencialmente superior al de cualquier superordenador clásico.

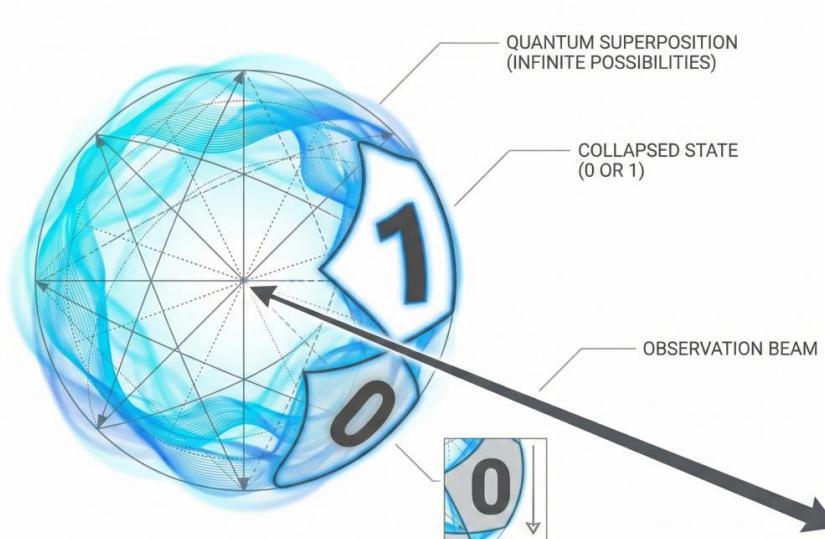


## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

#### La Superposición: Estar en Todos los Estados a la Vez

La propiedad más revolucionaria del cúbit es la **superposición**. Mientras que un bit clásico está forzado a ser un 0 ó un 1, un cúbit puede existir en una combinación de ambos estados simultáneamente. De forma más precisa, un estado de superposición se describe como  $a|0\rangle + b|1\rangle$ , donde los coeficientes 'a' y 'b' representan la probabilidad de encontrar el cúbit en el estado 0 o 1 al medirlo.



Es crucial entender que esta superposición no es simplemente un estado intermedio o desconocido. El cúbit está, literalmente, en ambos estados a la vez, y puede darse en infinitas combinaciones o proporciones.

Por ejemplo, una partícula cuyo espín representa un cúbit podría estar en un estado de superposición donde tiene una probabilidad del 10% de ser medido como "giro a la izquierda" (estado 1) y un 90% de ser medido como "giro a la derecha" (estado 0). En este caso, los coeficientes 'a' y 'b' de la fórmula reflejarían esa proporción.

Sin embargo, este delicado estado cuántico tiene una característica fundamental: el **colapso**. La superposición se mantiene únicamente mientras el sistema no es observado o medido.

En el momento en que se realiza una lectura, el sistema "colapsa" y se ve forzado a elegir uno de los estados clásicos.

El cúbit del ejemplo anterior, al ser medido, arrojará un resultado definitivo de 0 o 1, perdiendo irrevocablemente su estado de superposición.



## ACTUALIDAD CIENTIFICA

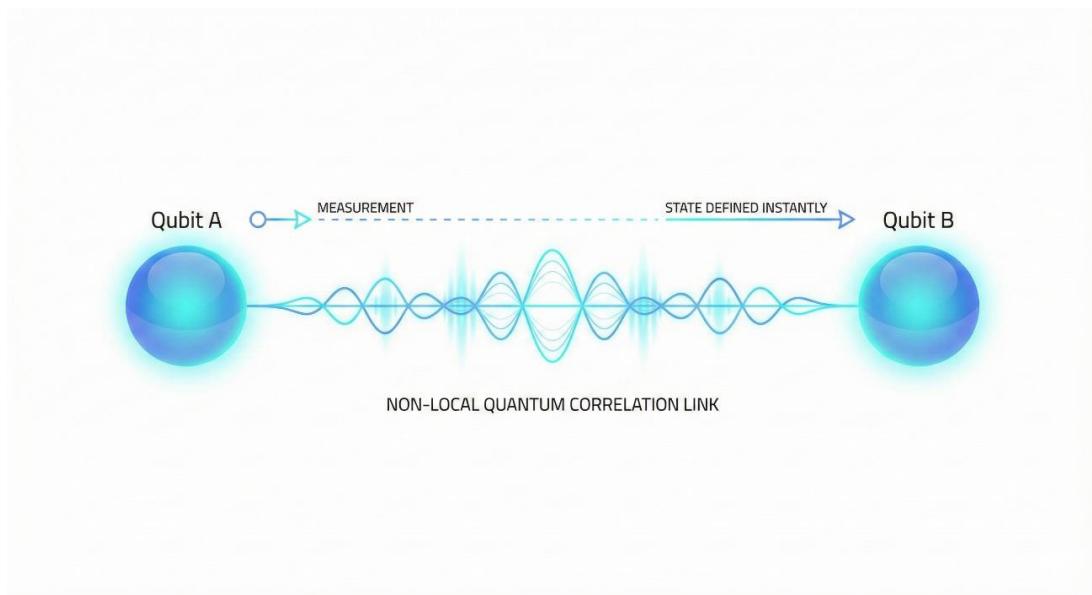
### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

La magia, por tanto, reside en manipular estas superposiciones para guiar el cálculo hacia la respuesta deseada antes de realizar la medición final.

#### El Entrelazamiento: Una Conexión Fantasmal a Distancia

El segundo pilar del poder cuántico es el **entrelazamiento**, un fenómeno que Albert Einstein describió célebremente como "acción fantasmal a distancia".

El entrelazamiento establece una conexión profunda e inseparable entre dos o más cúbits, de modo que sus destinos quedan irrevocablemente ligados, sin importar la distancia física que los separe.



Un experimento clásico para visualizarlo consiste en usar una fuente que emite pares de fotones entrelazados en direcciones opuestas hacia dos polarizadores. Cuando un fotón llega a su polarizador, este lo obliga a adoptar una polarización, por ejemplo, horizontal o vertical. Lo asombroso es que, si el fotón de la izquierda se polariza en un plano horizontal, el de la derecha, instantáneamente, lo hace en un plano vertical, y viceversa.

Un fotón "sabe" de inmediato lo que le ha ocurrido a su compañero, aunque estén a kilómetros de distancia.

La implicación para la computación es inmensa. Si tenemos dos cúbits entrelazados, midiendo el estado de uno de ellos conocemos instantáneamente el estado del otro.



## ACTUALIDAD CIENTIFICA

### Capítulo I - Computación Cuántica: El Salto Abismal

Esto crea correlaciones y dependencias entre cúbits que no tienen equivalente en el mundo clásico, proporcionando una capa adicional de recursos computacionales.

Cuando se combinan, la superposición (que permite a cada cúbit explorar múltiples valores a la vez) y el entrelazamiento (que correlaciona los estados de múltiples cúbits) crean un espacio computacional de una riqueza y complejidad inabarcables, permitiendo a los ordenadores cuánticos abordar problemas que permanecerán por siempre fuera del alcance de las máquinas clásicas.

Hemos recorrido el camino desde los límites infranqueables de la computación clásica hasta los fundamentos de una nueva era.

El agotamiento de la Ley de Moore nos obliga a dar un salto abismal, un salto que redefine la unidad básica de información en la forma del **cúbit**. Es este cúbit, dotado de los poderes gemelos de la **superposición** y el **entrelazamiento**, el que sienta las bases para una revolución computacional sin precedentes.

Comprender estos principios es esencial para apreciar la magnitud del cambio que tenemos por delante.

*Autores:*

*Enrique Reina Reina*

*Guillermo García Gila*

*Javier Pérez Sousa*

*Todos Seniors ICAI*