

Computación cuántica, neuromórfica, biológica, heterogénea y de borde: fundamentos, arquitecturas, historia y ventajas/desventajas, con guía de repositorio para la tarea 2

Carlos Manuel Guevara Figueroa
Universidad Santo Tomás
Correo: carlosguevaraf@usantotomas.edu.co
GitHub: <https://github.com/carlosmgf03>

Resumen—Se presentan los conceptos clave de computación cuántica, neuromórfica, biológica, heterogénea y de borde. Para cada enfoque se discuten su definición, arquitectura, historia y principales ventajas y desventajas. Se incluyen nociones cuánticas como superposición, entrelazamiento, interferencia, medición probabilística, decoherencia y comunicación cuántica. Finalmente, se añade una guía práctica para crear el repositorio colaborativo denominado *tarea 2*, con estructura de **README**, inclusión de imágenes, estilos y referencias.

I. INTRODUCCIÓN

La rápida evolución de la computación está impulsada por límites físicos, demandas energéticas y nuevas aplicaciones. Además de la computación digital clásica, han surgido paradigmas que explotan fenómenos físicos distintos (cuánticos, biológicos) o nuevas formas de organización (heterogénea y de borde). Este documento sintetiza los fundamentos y proporciona lineamientos de documentación colaborativa.

II. COMPUTACIÓN CUÁNTICA

II-A. ¿Qué es?

La computación cuántica utiliza qubits que pueden estar en superposición de estados, permitiendo procesar información de manera no clásica. El poder proviene de la interferencia controlada y el entrelazamiento entre qubits.

II-B. Arquitectura de un computador cuántico

Una arquitectura típica incluye: (i) **registro de qubits** (superconductores, iones atrapados, fotónicos, *spins*, etc.); (ii) **control y electrónica criogénica** para generar pulsos; (iii) **unidad de medida** con lectura dispersiva o de fluorescencia; (iv) **capa de compilación** (*mapping*, *scheduling*, calibraciones) y (v) **clásico de orquestación** que envía circuitos, recolecta conteos y realiza posprocesado.

II-C. Historia, ventajas y desventajas

Historia breve: de la teoría en las décadas de 1980–1990 (algoritmos de Shor y Grover) a los primeros dispositivos NISQ (Noisy Intermediate-Scale Quantum).

Ventajas: potencial aceleración en factorización, búsqueda no estructurada, simulación de materiales y química cuántica.

Desventajas: ruido y decoherencia, escalabilidad compleja, demanda criogénica/óptica, corrección de errores costosa.

II-D. Conceptos clave

- **Superposición:** un qubit puede representarse como $\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ (con $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$).
- **Entrelazamiento:** estados de múltiples qubits con correlaciones no clásicas.
- **Interferencia:** diseño de circuitos para reforzar amplitudes deseadas y cancelar las no deseadas.
- **Medición probabilística:** la medición proyecta el estado, generando resultados según las amplitudes.
- **Decoherencia:** pérdida de información cuántica por interacción con el entorno; limita la profundidad de circuitos.
- **Comunicación cuántica y computadoras cuánticas:** uso de fotones entrelazados, *teleportación* de estados y redes cuánticas para conectar procesadores.

III. COMPUTACIÓN NEUROMÓRFICA

III-A. ¿Qué es un computador neuromórfico?

Es un sistema que emula principios neuronales/cerebrales para procesar información de forma distribuida, paralela y eficiente en energía, usualmente con *spiking neural networks* (SNN).

III-B. Arquitectura y funcionamiento; ventajas y desventajas

Arquitectura: *cores* con neuronas y sinapsis programables, routers para comunicación tipo *spike*, memorias locales de baja latencia y control de aprendizaje (por ejemplo, STDP).

Funcionamiento: codificación de información en trenes de pulsos (*spikes*); el cómputo emerge de la dinámica temporal.

Ventajas: latencia baja, eficiencia energética, procesamiento *event-driven* en borde.

Desventajas: ecosistema de herramientas menos maduro, programación/modelado más complejo, precisión numérica limitada en ciertos casos.

III-C. Hardware usado en neuromórfica

ASICs dedicados (ej., arquitecturas con neuronas/sinapsis integradas), FPGAs para prototipado, *memristores* para sinapsis no volátiles, y aceleradores mixtos analógico-digitales.

III-D. Tipos de computación neuromórfica

- **Analogica:** integra dinámicas continuas muy eficientes, pero sensible a variaciones.
- **Digital:** más robusta y programable; integra mejor con flujos de ML.
- **Mixta** (analógico-digital): busca balance entre eficiencia y control.

IV. COMPUTACIÓN BIOLÓGICA (ORDENADORES BIOLÓGICOS)

IV-A. ¿Qué es un ordenador biológico?

Sistemas que usan procesos biológicos (p. ej., reacciones de ADN, redes metabólicas, cultivo de neuronas) para representar y transformar información.

IV-B. Arquitectura, tipos e hitos

Arquitectura: componentes biológicos que implementan puertas lógicas/químicas, circuitos genéticos y sensores/actuadores; interfaz de lectura/escritura (flujo óptico, electroquímico).

Tipos: cómputo con ADN (reacciones en solución), organoides/neurocomputación in vitro, sistemas bio-híbridos con electrónica.

Hitos: demostraciones de puertas lógicas con ADN, autómatas moleculares y tareas sencillas de control/neuroaprendizaje en cultivos.

V. COMPUTACIÓN HETEROGÉNEA

V-A. ¿Qué es?

Estrategia que combina múltiples tipos de procesadores/aceleradores (CPU, GPU, DSP, FPGA, NPU, etc.) en un sistema para asignar cada tarea al hardware más adecuado.

V-B. Historia, ventajas y desventajas

Historia: consolidación con la irrupción de GPUs para GPGPU y la proliferación de aceleradores AI.

Ventajas: mayor rendimiento/eficiencia al especializar tareas; escalabilidad; flexibilidad.

Desventajas: complejidad de programación, transferencia de datos entre dominios de memoria, necesidad de *runtimes* y modelos portables.

VI. COMPUTACIÓN DE BORDE (EDGE COMPUTING)

VI-A. ¿Qué es?

Paradigma que acerca el procesamiento a la fuente de datos (sensores, dispositivos, gateways) para reducir latencia, tráfico y dependencia del centro de datos.

VI-B. Historia, ventajas y desventajas

Historia: evolución natural del IoT y la necesidad de respuestas locales; integración con 5G/6G.

Ventajas: menor latencia, mejor privacidad, resiliencia offline, ahorro de ancho de banda.

Desventajas: recursos limitados, gestión distribuida, seguridad heterogénea, actualización y observabilidad complejas.

VII. RESUMEN COMPARATIVO

Paradigma	Ventajas	Desventajas
Cuántica	Potencial aceleración en problemas específicos; simulación cuántica	Decoherencia; corrección de errores costosa; escalabilidad
Neuromórfica	Eficiencia energética; event-driven; latencia baja	Herramientas inmaduras; complejidad de programación
Biológica	Paralelismo químico; nuevas interfaces bio-sensoriales	Lento/ruidoso; control y escalado limitados
Heterogénea	Ajuste tarea-hardware; rendimiento y eficiencia	Complejidad software; costos de transferencia de datos
Borde	Latencia y privacidad; resiliencia	Recursos limitados; operación distribuida compleja

Tabla I
COMPARATIVA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

VIII. CONCLUSIONES

Los cinco paradigmas abordan distintos cuellos de botella: física subyacente, eficiencia energética, co-diseño de hardware y localización del cómputo. La documentación colaborativa y el control de versiones son esenciales para comparar alternativas y mantener trazabilidad de fuentes.