

# Resumen: Materiales Cuánticos para una Inteligencia Artificial Sostenible

Julian L. Avila-Martinez

19 de Septiembre 2025

**Ponente:** Paula Giraldo-Gallo

**Afiliación:** Grupo de Materiales Cuánticos, Universidad de los Andes

## El Desafío: Almacenamiento de Datos Insostenible

El crecimiento exponencial de los datos, actualmente estimado en más de  $10^{23}$  bytes, presenta un desafío de sostenibilidad significativo. Estos datos se almacenan físicamente en centros de datos que colectivamente ocupan un área comparable a la de un país pequeño y consumen aproximadamente el 1 % de la energía total del mundo. La tecnología central, la memoria ferromagnética, depende de la inducción de corrientes eléctricas para escribir y leer datos. Este proceso es fundamentalmente ineficiente debido a dos factores principales:

- **Ineficiencia Energética:** Se disipa una cantidad significativa de energía en forma de calentamiento por efecto Joule, lo que requiere sistemas de refrigeración masivos que a su vez consumen enormes recursos (e. g. un estimado de 2 litros de agua por cada imagen generada por IA).
- **Límites Físicos de Escalabilidad:** Los bits ferromagnéticos no pueden reducirse por debajo de aproximadamente 16 nm sin volverse térmicamente inestables debido al efecto superparamagnético, lo que provoca la pérdida de datos. Esto impone un límite estricto a la densidad de almacenamiento.

## La Solución: Materiales Cuánticos Multiferroicos

La charla propone un cambio de paradigma desde los materiales clásicos hacia los materiales cuánticos, aquellos cuyas propiedades están dominadas por fenómenos de la mecánica cuántica y no pueden ser descritos por aproximaciones clásicas. Dentro de esta clase, los materiales multiferroicos ofrecen una solución directa a la crisis energética del almacenamiento de datos.

A diferencia de los ferromagnetos convencionales que requieren una corriente eléctrica para cambiar los estados magnéticos, los multiferroicos exhiben un acoplamiento entre sus parámetros de orden magnético y eléctrico. Esto permite que la polarización magnética (el bit de datos) sea controlada por un campo eléctrico aplicado (una diferencia de potencial) en lugar de una corriente. Este cambio en el mecanismo puede reducir la energía necesaria para escribir datos en aproximadamente cuatro órdenes de magnitud.

# Un Novedoso Material Multiferroico 2D a Temperatura Ambiente

Para abordar tanto el consumo de energía como la densidad espacial, el grupo ha desarrollado un novedoso material multiferroico 2D basado en un Dicalcogenuro de Metal de Transición (TMD). Los TMDs tienen una fórmula química general de  $MX_2$ , donde M es un metal de transición y X es un calcógeno. Se caracterizan por fuertes enlaces covalentes dentro de un plano 2D y débiles fuerzas de van der Waals entre planos, lo que permite su exfoliación en capas individuales.

El material específico desarrollado es una aleación compleja con la fórmula  $W(Se_{1-x}Te_x)_{2-\delta}$ :

- **M (Metal de Transición):** Wolframio (W)
- **X (Calcógeno):** Selenio (Se)
- **Dopante:** Telurio (Te) se sustituye por Selenio para ajustar las propiedades del material.
- **Defecto:** Se introduce intencionadamente una vacancia ( $\delta$ ) en los sitios del calcógeno.

El material exhibe varias propiedades clave diseñadas:

- **Ferromagnetismo por Vacancias:** La introducción de vacancias de selenio ( $\delta$ ) es el principal impulsor para inducir ferromagnetismo en el material. Una mayor concentración de vacancias resulta en una respuesta ferromagnética más fuerte.
- **Piezoelectricidad Sintonizable:** El material también es piezoeléctrico. La magnitud de la respuesta piezoeléctrica se correlaciona directamente con la concentración de Telurio (x), lo que permite ajustar esta propiedad.

## Conclusión y Relevancia

La investigación culmina en la creación de lo que se reporta como el primer material multiferroico 2D que es funcional a temperatura ambiente. Esto representa un avance significativo, ya que los multiferroicos 2D anteriores solo eran estables a temperaturas criogénicas, lo que los hacía imprácticos para aplicaciones de consumo o en centros de datos. El desarrollo de una memoria magnética controlada por voltaje a temperatura ambiente en un formato 2D aborda directamente los desafíos críticos del consumo de energía y la densidad de almacenamiento. Con una patente en trámite, este material podría allanar el camino para una nueva generación de dispositivos lógicos y de memoria de ultra alta densidad y bajo consumo, esenciales para el escalado sostenible de la inteligencia artificial.