



Dirección General
de Investigación
e Innovación Tecnológica
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y UNIVERSIDADES

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en su futuro



PROGRAMAS DE I+D EN TECNOLOGÍAS 2018

ACRONIMO: **QUITEMAD-CM**

TITULO PROGRAMA: **Quantum Information Technologies Madrid**

PRESUPUESTO CONCEDIDO: **1.200.000 Euros**

Madrid, 17 y 18 de abril de 2024



Comunidad
de Madrid

Dirección General
de Investigación
e Innovación Tecnológica
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y UNIVERSIDADES

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en su futuro



QUITEMAD-CM – GRUPOS PARTICIPANTES



ACRÓNIMO	RESPONSABLE	FUNCIÓN	ORGANISMO/CENTRO
GICC	MARTIN-DELGADO M.A	Coordinador	Universidad Complutense de Madrid/ Facultad de CC Físicas
MATHQI	PÉREZ GARCÍA, DAVID	Responsable	Universidad Complutense de Madrid / Facultad de Ciencias Matemáticas
QC&T	IBORT LATRE, LUIS ALBERTO	Responsable	Universidad Carlos III de Madrid / Escuela Politécnica Superior
QITP	SIERRA RODERO, GERMÁN	Responsable	Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas / Instituto de Física Teórica (IFT)
QUIST	GARCÍA RIPOLL, JUAN JOSÉ	Responsable	Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas / Instituto de Física Fundamental (IFF)
UPMGIICC	MARTÍN AYUSO, VICENTE	Responsable	Universidad Politécnica de Madrid / Escuela Técnica Superior de Ingenieros Informáticos
226	DEL CAMPO MALDONADO, DOLORES	Responsable	Centro Nacional de Metrología / Centro Español de Metrología

Coordinador: MARTÍN-DELGADO ALCÁNTARA, MIGUEL ANGEL



QUITEMAD-CM - OBJETIVOS DEL PROGRAMA

Objetivo 1: Redes Cuánticas en infraestructuras de telecomunicaciones (Grado de cumplimiento 100%). Tarea única.

Objetivo 2: Aspectos Teóricos de Criptografía Cuántica.

Tarea 1: Criptografía Cuántica Relativista (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 2: Self Testing de estados cuánticos (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 3: Complejidad y entrelazamiento de juegos no locales (Grado de cumplimiento 100%)

Objetivo 3 Computación Cuántica: Aspectos Teóricos.

Tarea 1. Computación cuántica topológica (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 2. Algoritmos cuánticos y su complejidad (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 3: Quantum firmware (Grado de cumplimiento 100%):

Objetivo 4 Experimentos e implementaciones físicas (Grado de cumplimiento 100%):





QUITEMAD-CM - OBJETIVOS DEL PROGRAMA

Objetivo 5 Desarrollos y Aplicaciones de Simulación y Optimización Cuánticas

Tarea 1: Nuevas implementaciones de simuladores cuánticos (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 2: Termodinámica exótica en sistemas topológicos (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 3: Uso de ordenadores cuánticos para resolver el problema de muchos cuerpos cuánticos en física nuclear y química cuántica (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 4: Controlabilidad en grafos (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 5: Simulación de nuevos efectos exóticos (Grado de cumplimiento 100%)

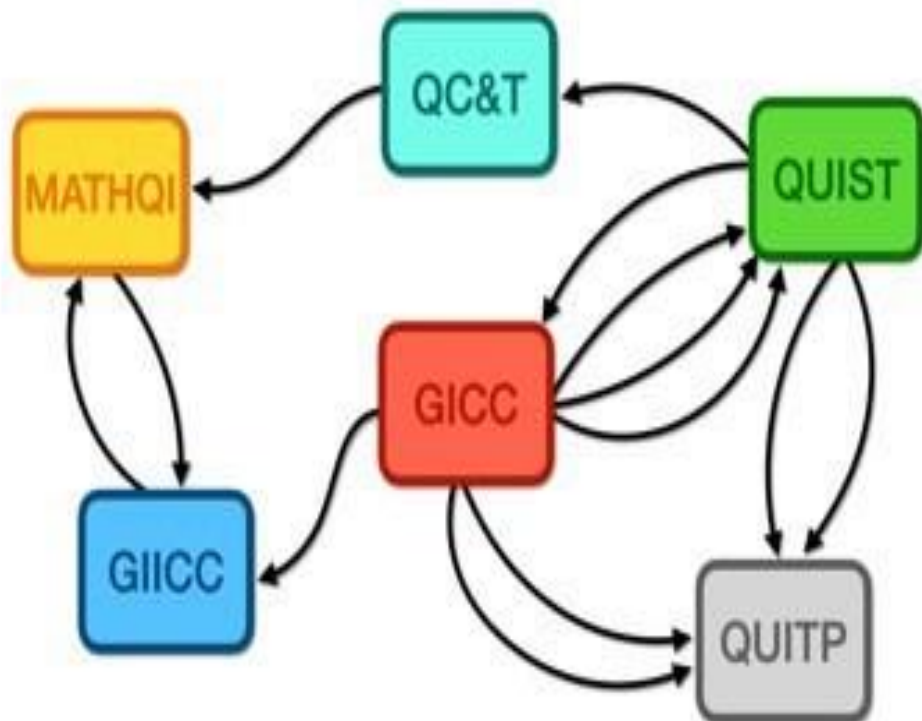
Objetivo 6. Aprendizaje de Máquinas y Aplicaciones.

Tarea 1: Privacidad en IA con tensor networks (Grado de cumplimiento 100%)

Tarea 2: Redes neuronales cuánticas (Grado de cumplimiento 100%)



QUITEMAD-CM - OBJETIVOS DEL PROGRAMA



“CAPITAL HUMANO”:

1. Atraer a los mejores investigadores posibles en las distintas áreas de investigación que abarca, incluyendo a los contratados predoctorales y postdoctorales con cargo a QUITMAD. A investigadores provenientes de otros programas competitivos o plazas permanentes o de profesor ayudante doctor.
2. Fomentar la movilidad de los investigadores del programa. Aumentando y fortaleciendo las redes de colaboración dentro del programa y con los grupos externos asociados al mismo.
3. Mantener y aumentar el alto nivel de participación de QUITMAD en redes y consorcios nacionales e internacionales.





QUITEMAD-CM - OBJETIVOS DEL PROGRAMA

LABORATORIOS REDLAB: CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA (CEM)

Objetivo 7. Metrología Cuántica de Segunda Generación. Tarea única, grado de cumplimiento 60%

Objetivo 8. Patrones cuánticos para el nuevo SI y sensores cuánticos.

Tarea 1: Determinación cuántica de la intensidad de corriente eléctrica. Grado de Cumplimiento 85%.

**Tarea 2: Realización de dispositivos nano-fotónicos y optomecánicos para medida de temperatura.
Grado de cumplimiento 100%.**

Tarea 3: Estudio de la ergotropía para termometría cuántica. Grado de cumplimiento 90%.

Tarea 4: Desarrollo de sensores cuánticos basados en transiciones de fase. Grado de cumplimiento 100%.

Tarea 5: Termometría fotónica y nanomecánica. Grado de cumplimiento 90%.

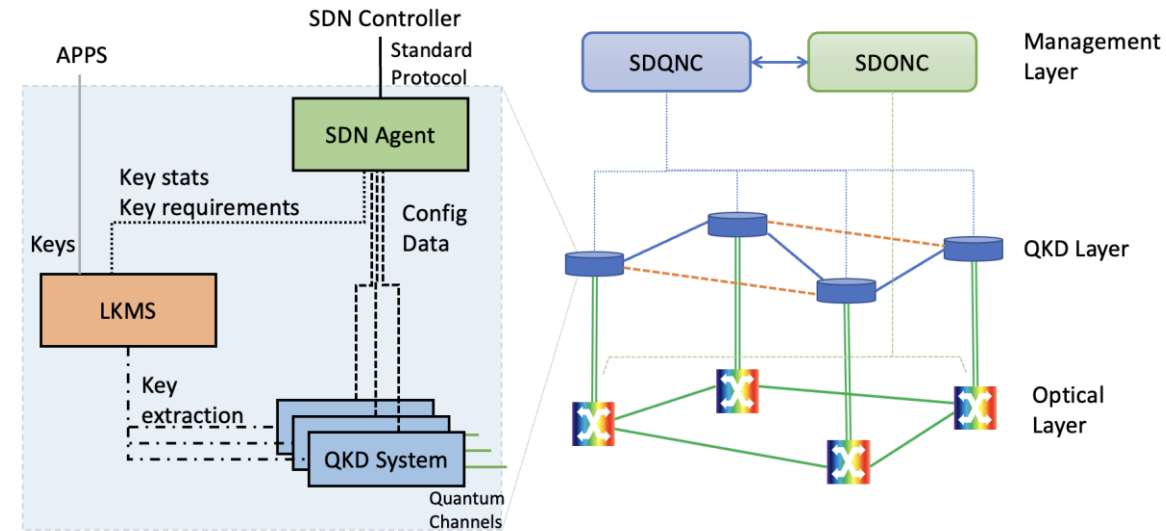
Tarea 6: Fases topológicas y metrología de alta precisión. Grado de cumplimiento 90%.



QUITEMAD-CM: *Redes Cuánticas en infraestructuras de telecomunicaciones*

- Resultados principales:

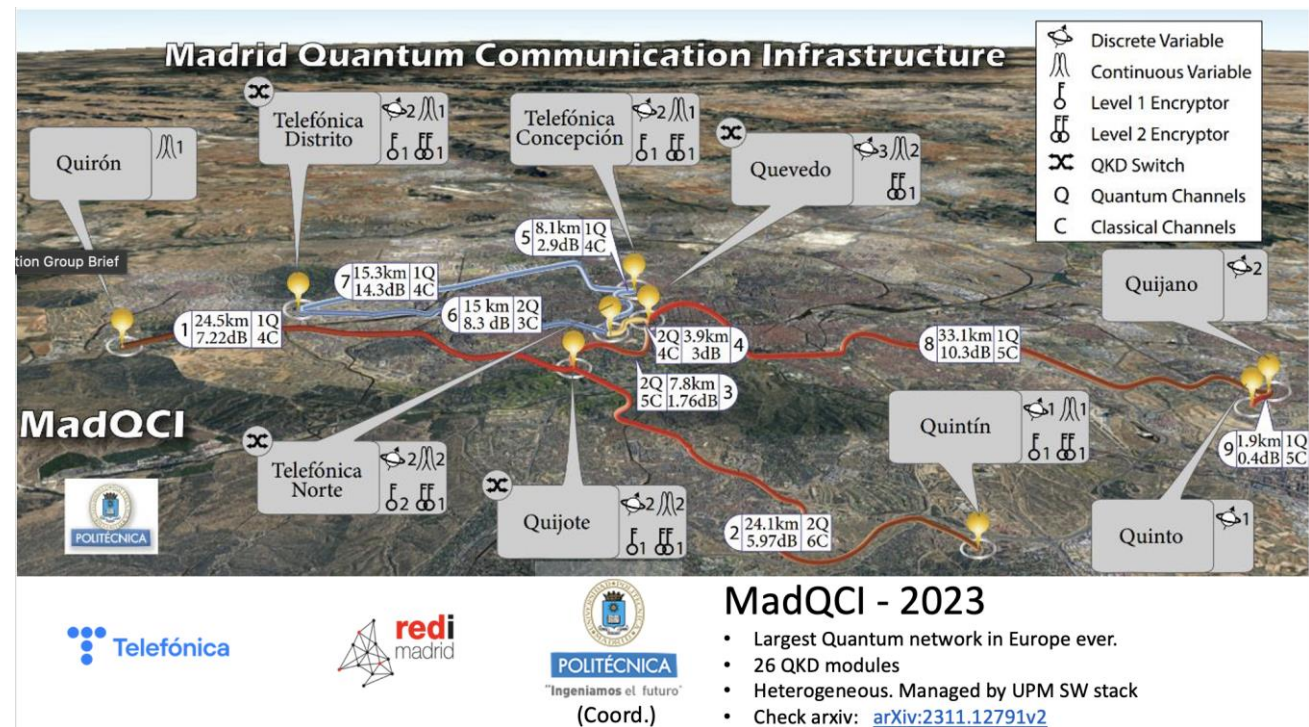
- Modelo de red SDN (Software Defined Networking) de nodo cuántico flexible para integración en redes de telecomunicación.
- Contribución a varios documentos de estándar en el European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Una patente.
 - ETSI ISG QKD 004: Key extraction interface
 - ETSI ISG QKD 015: Control agent
 - ETSI ISG QKD 018: Orchestration interface
 - Patent: European Patent EP18382095. US Patent US 11,057,293 B2 (with Telefonica)



QUITEMAD-CM: *Redes Cuánticas en infraestructuras de telecomunicaciones*

• Resultados principales:

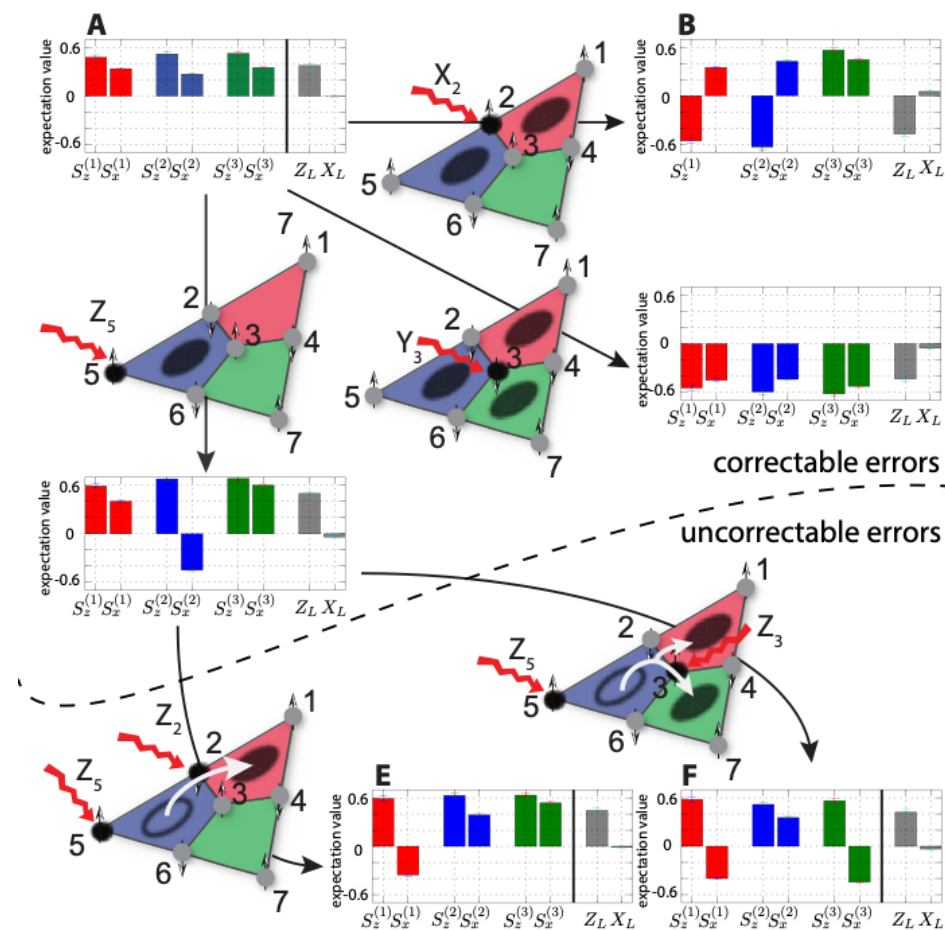
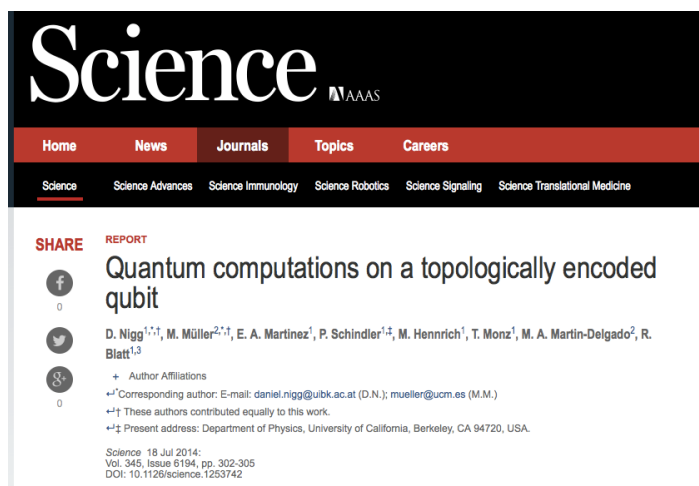
- Contribución al testbed de red MadQCI (Madrid Quantum Communications Infraestructure) 2019-23
 - El mayor testbed de comunicaciones cuánticas de Europa.
 - Altamente heterogéneo.
 - Demostrando su integración en red de telecomunicaciones.
 - Ver arXiv:2311.12791v2



QUITEMAD-CM - Experimentos e Implementaciones Físicas.

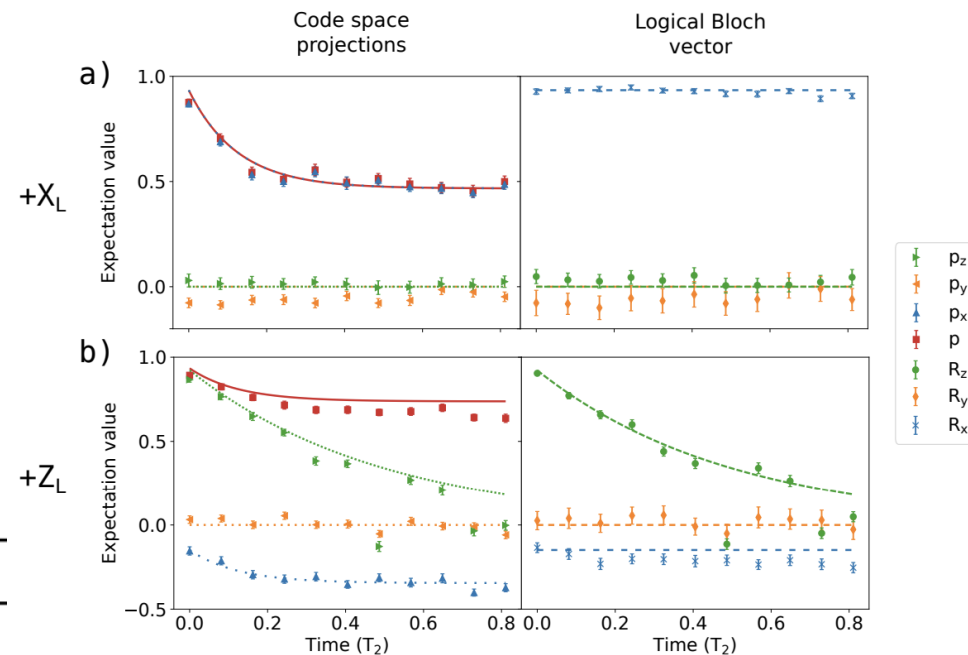
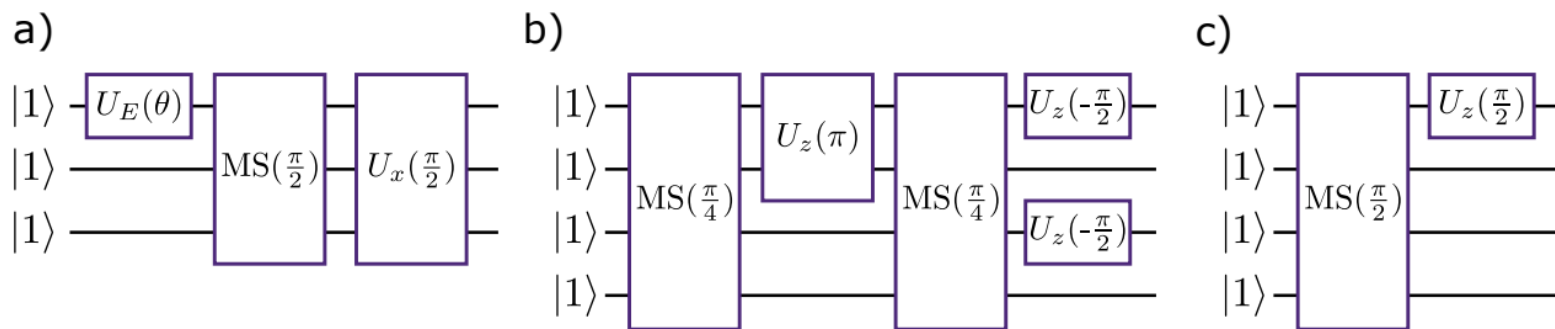
Los códigos cuánticos de tipo estabilizador han sido objeto de intensa investigación tanto teórica como experimental con nuestros socios internacionales vinculados a QUITMAD a lo largo de su historia.

Su implementación experimental es de gran importancia para la construcción futura de un computador cuántico completo y escalable.



QUITEMAD-CM - Experimentos e Implementaciones Físicas.

En una colaboración con el laboratorio de óptica cuántica del Prof. Rainer Blatt en la Universidad de Innsbruck (grupo asociado) hemos estudiado un aspecto fundamental para la caracterización de la decoherencia en qubits lógicos



A.K. Pal, P. Schindler, A. Erhard, Á. Rivas, M.A. Martin-Delgado, R. Blatt, T. Monz, and M. Müller, "Relaxation times do not capture logical qubit dynamics", Quantum 6, 632 (2022)

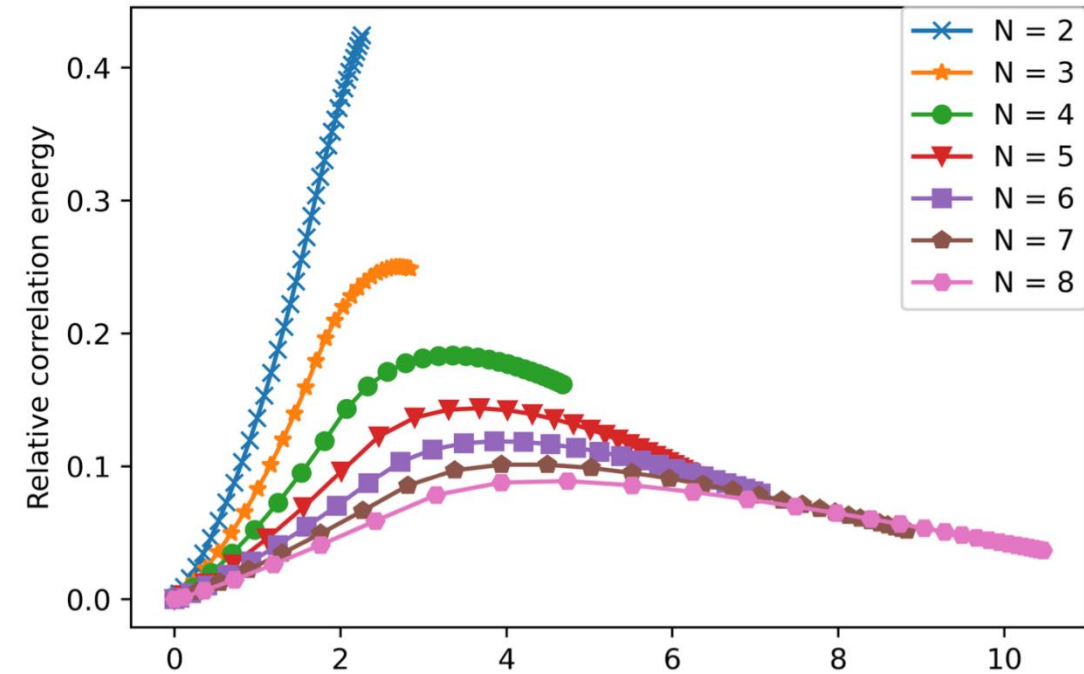


QUITEMAD-CM: *Desarrollos y Aplicaciones de Simulación y Optimización Cuánticas.*



Uso de ordenadores cuánticos para resolver el problema de muchos cuerpos cuánticos en física nuclear y química cuántica

- **Objetivo:** Estudiar la conexión entre la **teoría de información cuántica** y el **problema de muchos cuerpos fermiónico**. Ruptura espontánea de la simetría y mecanismos de restauración bajo la perspectiva de la información cuántica
- **Resultados principales:**
 - Gracias a la regla de superselección de paridad, se ha desarrollado un **método para calcular las correlaciones puramente cuánticas** en sistemas de fermiones.
 - La aproximación de campo medio crea **'correlaciones cuánticas falsas'** (véanse las gráficas inferiores) entre dos subsistemas, que son redistribuidas de forma compleja cuando se restaura la simetría previamente rota.
 - Al contrario que las cantidades definidas dentro de la teoría de información cuántica, la **energía de correlación no es una buena medida de las correlaciones** del sistema (véase gráfica derecha).
 - Es posible describir el comportamiento de los 'pares de Cooper' mediante estos resultados: al restaurar la simetría rotacional, las **correlaciones existentes dentro de los pares se transforman en correlaciones entre pares** (interacción). Además, **cuanto todas las simetrías son restauradas, la estructura de correlaciones no viene dada por la dinámica, sino por la estructura del espacio de Hilbert del modelo.**



Energía de correlación relativa frente a entropía total para diferentes números de partículas en el modelo de Lipkin: Mientras que las medidas de información cuántica (entropía total en este caso) aumentan con la interacción del sistema, no es el caso de las medidas 'tradicionales' de la correlación, como la energía de correlación relativa. Esto implica que las **herramientas de información y computación cuántica pueden darnos una medida más precisa de las correlaciones que otras medidas** basadas en, por ejemplo, la dinámica del sistema.

Referencias:

Faba, J., Martín, V., & Robledo, L. (2021). Correlation energy and quantum correlations in a solvable model. Phys. Rev. A, 104, 032428.

Faba, J., Martín, V., & Robledo, L. (2021). Two-orbital quantum discord in fermion systems. Phys. Rev. A, 103, 032426.

Faba, J., Martín, V., & Robledo, L. (2022). Analysis of quantum correlations within the ground state of a three-level Lipkin model. Phys. Rev. A, 105, 062449.

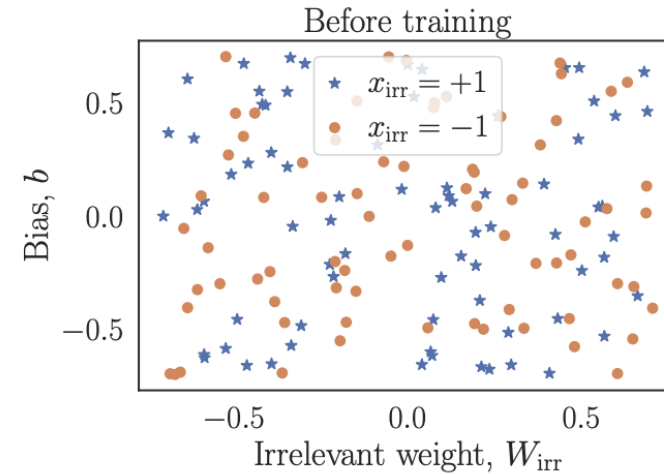


QUITEMAD-CM - Privacidad en IA con tensor networks

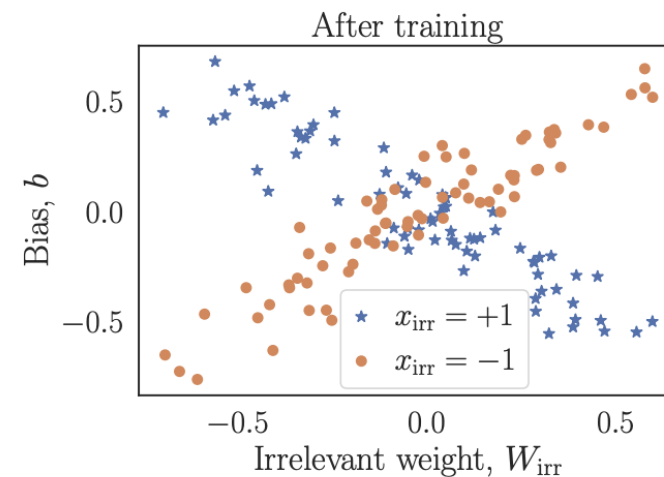
El mecanismo estándar de privacidad (la privacidad diferencial), al estar basado en la introducción de ruido, puede llegar a comprometer la imparcialidad de una IA.

A. PozasKerstjens, S. HernándezSantana, J. R. Pareja, M. Castrillón, G. Scarpa, C. E. GonzálezGuillén, D. Pérez-García. Physics solutions for machine learning privacy leaks, arXiv:2202.12319.

(a)



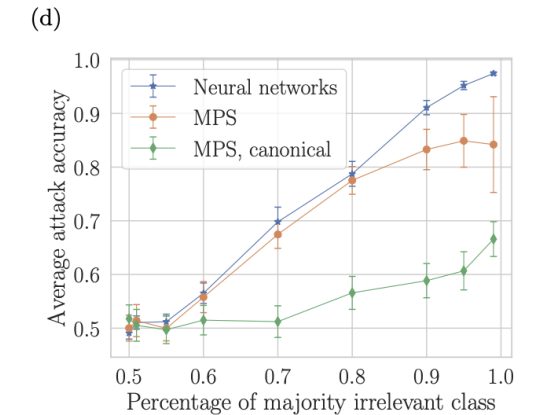
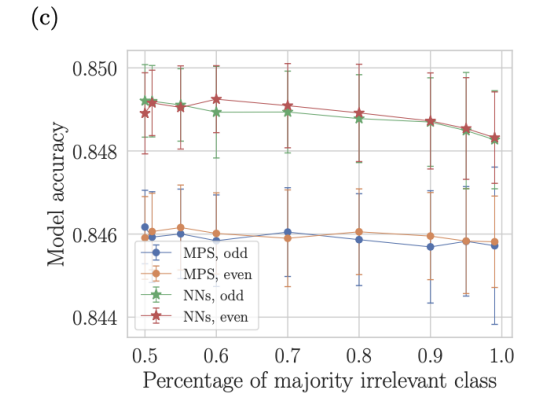
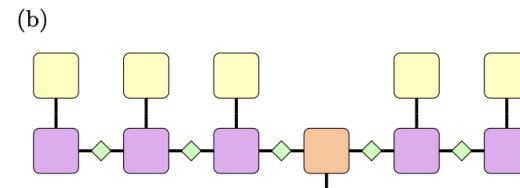
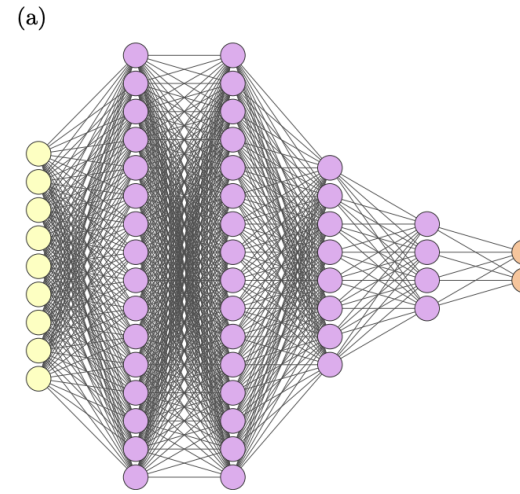
(b)



QUITEMAD-CM - Privacidad en IA con tensor networks

Por otro, se ha obtenido un teorema matemático riguroso de privacidad si el entrenamiento se hace con redes de tensores que, además, funciona en la práctica: los ataques pasan a no dar ninguna información en absoluto.

A. PozasKerstjens, S. HernándezSantana, J. R. Pareja, M. Castrillón, G. Scarpa, C. E. GonzálezGuillén, D. Pérez-García. Physics solutions for machine learning privacy leaks, arXiv:2202.12319.



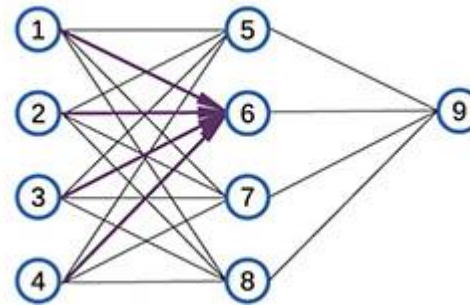
QUITEMAD – Perceptrón cuántico

- Diseño de una unidad fundamental para redes neuronales cuánticas.
- Demostración de la misma con un computador cuántico analógico de iones atrapados.

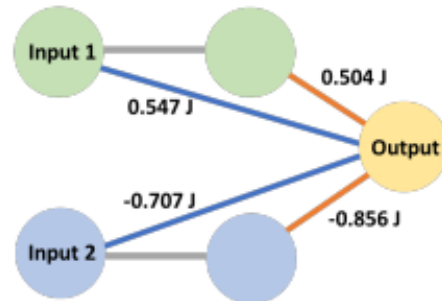
E. Torrontegui, J. J. García Ripoll
Europhysics Letters (2019)

P. Huber et al, Optica 2.0 Conf. (2023)

Arquitectura red neuronal

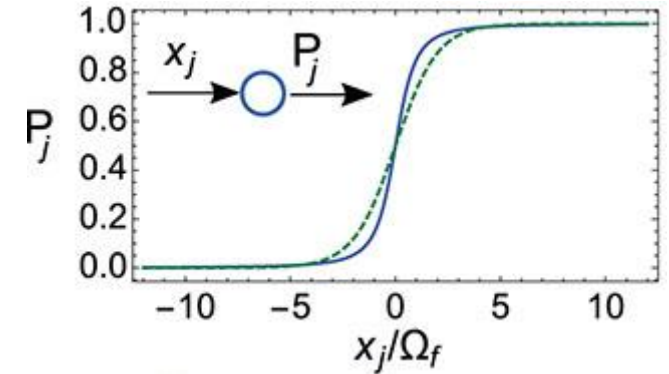


Ejemplo experimental

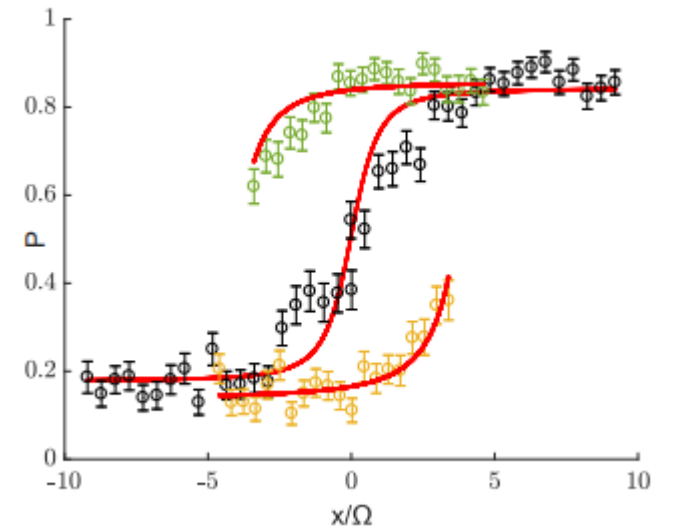


Input 1	Input 2	Output
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Respuesta del perceptrón

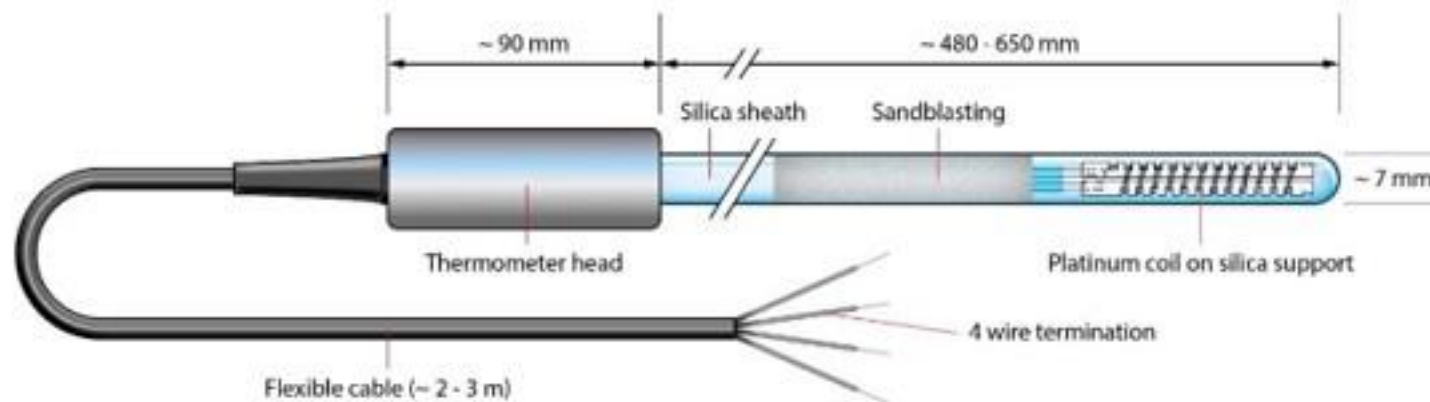


Respuesta experimental



QUITEMAD-CM - Desarrollo de un laboratorio para la calibración en temperatura de dispositivos nanofotónicos

Los sensores de temperatura más precisos del mundo, los termómetros de resistencia de platino estándar, se basan en tecnologías anticuadas que no se prestan a la miniaturización, la portabilidad o la amplia difusión.

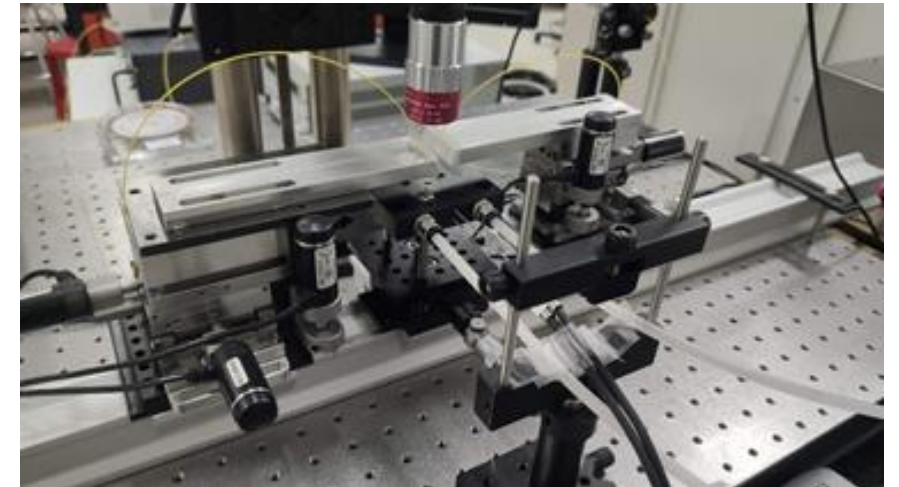
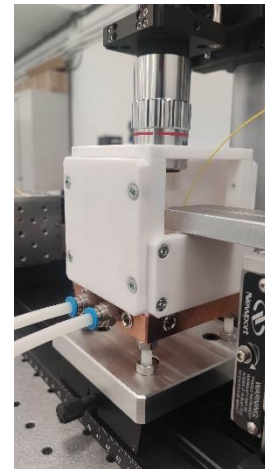


PhotOQuant: primer intento europeo de desarrollar un patrón cuántico para la metrología de la temperatura



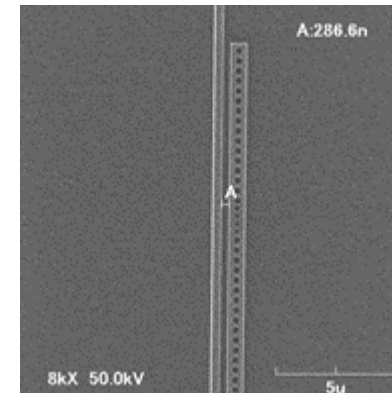
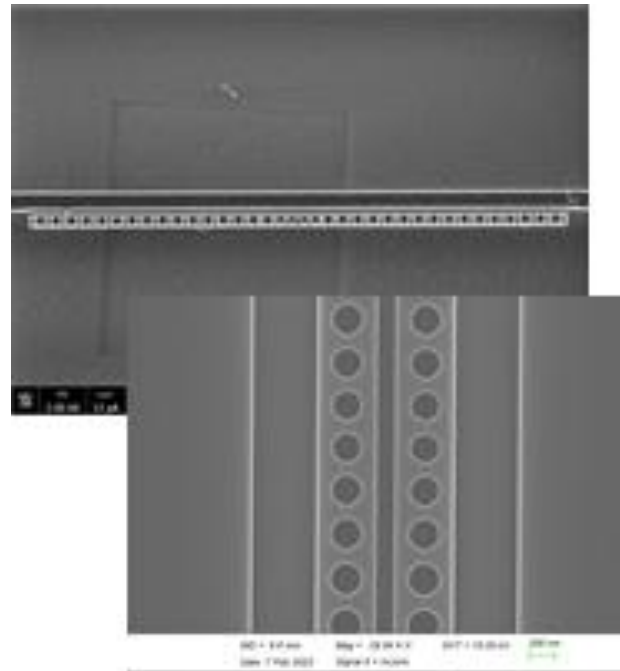
QUITEMAD-CM - Desarrollo de un laboratorio para la calibración en temperatura de dispositivos nanofotónicos

- Se ha montado y validado un sistema de medida para calibración de sensores nanofotónicos en espacio libre:



QUITEMAD-CM - Desarrollo de un laboratorio para la calibración en temperatura de dispositivos nanofotónicos

- En colaboración con el ICMM-CSIC se han fabricado en el ISOM-UPM muestras de cristales fotónicos para su uso como termómetros en SOI, actualmente en proceso de medición:



T. Briant et al "Photonic and optomechanical thermometry", 2022, MPDI Optics



Comunidad
de Madrid

Dirección General
de Investigación
e Innovación Tecnológica

CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y UNIVERSIDADES

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en su futuro



QUITEMAD-CM – ES UN CASO DE ÉXITO

El Programa QUITEMAD

QUAntum Information TEchnologies MADrid



QUITEMAD-CM – ES UN CASO DE ÉXITO

PUBLICACIONES: 237 en revistas

CONGRESOS: Internacionales 64, nacionales 32

TESIS: 16 tesis leídas

COLABORACIONES: Con grupos internacionales 18, 20 participaciones en eventos de carácter técnico o divulgativo, 12 colaboraciones con empresas internacionales: **IBM, Telefónica, IdQuantique, Volkswagen, Xanadu, Grupo Santander, BBVA.**

RESULTADOS TECNOLÓGICOS: 2 PATENTES, 5 elaboraciones de documentos técnicos, 2 informes de vigilancia tecnológica

CAPITAL HUMANO: Plaza de Profesor Titular, 2 Investigador Científico, 2 Científico Titular, Contratado Doctor, 4 contratos Ramón y Cajal.

PLAN DE CAPTACIÓN DE FONDOS: cerca de 25 M de entidades públicas y privadas. Obtención de 2 proyectos H2020 FET, 2 Quantum Flagship, 3 TIC: open QHD, 2 tenders. 1 contrato BBVA en el marco del programa misiones CDTI. 1 Laboratorio de investigación asociado al proyecto Severo Ochoa del ICMAT



QUITEMAD-CM – ES UN CASO DE ÉXITO

Revisión del SI basado en Constantes Fundamentales.

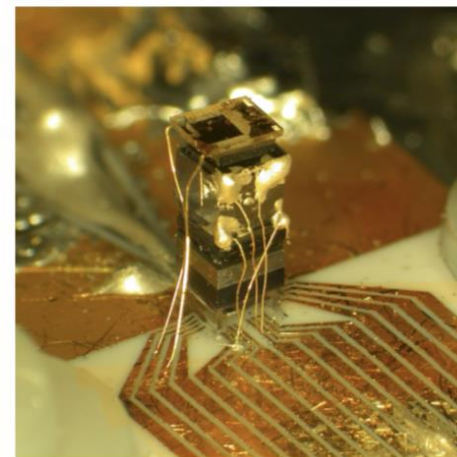
El segundo

Detrás de su definición hay una constante:

Una de las frecuencias de desintegración del Cs-133

El segundo, de símbolo s, se define fijando en 9 192 631 770 el valor numérico de la frecuencia de transición hiperfina del estado fundamental no perturbado del átomo de cesio 133, expresado en la unidad Hz, igual a 1/s.

$$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\ 192\ 631\ 770\ \text{Hz}$$



QUITEMAD-CM – ES UN CASO DE ÉXITO

Revisión del SI basado en Constantes Fundamentales.

El segundo

**Detrás de su definición hay una constante:
Una de las frecuencias de desintegración del Cs-133**

Reloj Cuántico-Lógico



Precisión

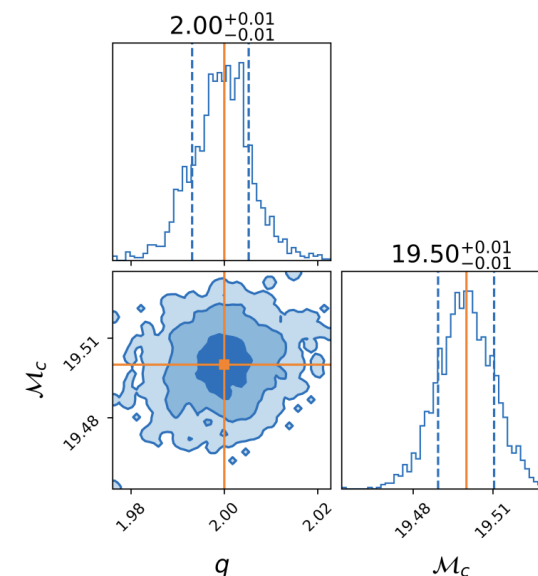
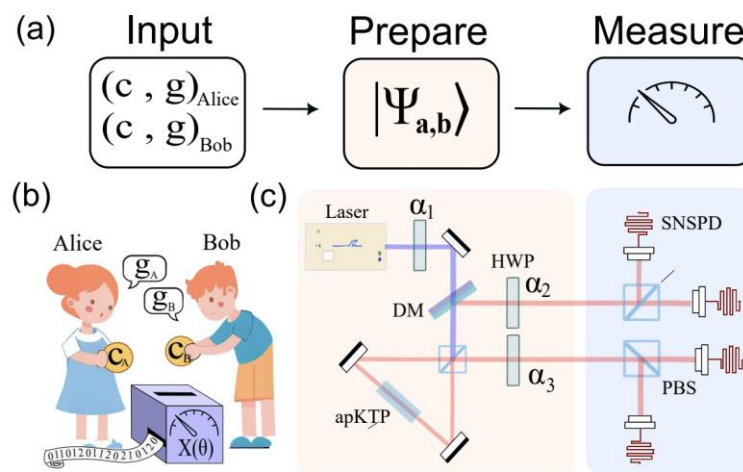
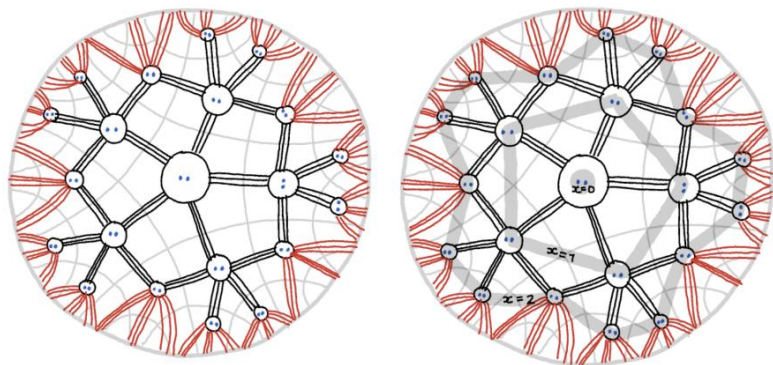
(R. Blatt LAB)

$10^{-17}, -18$ s



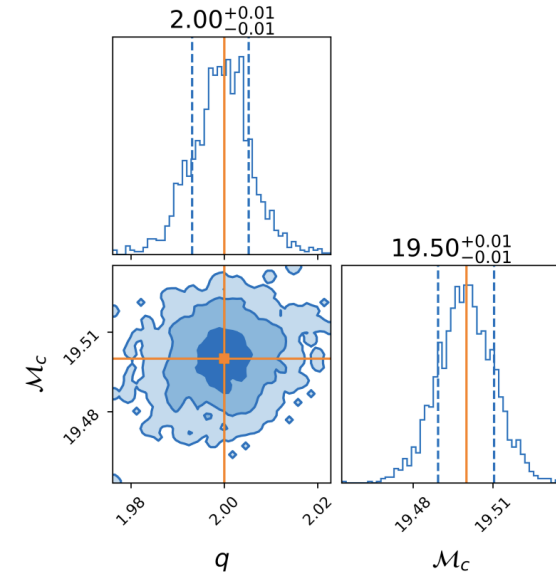
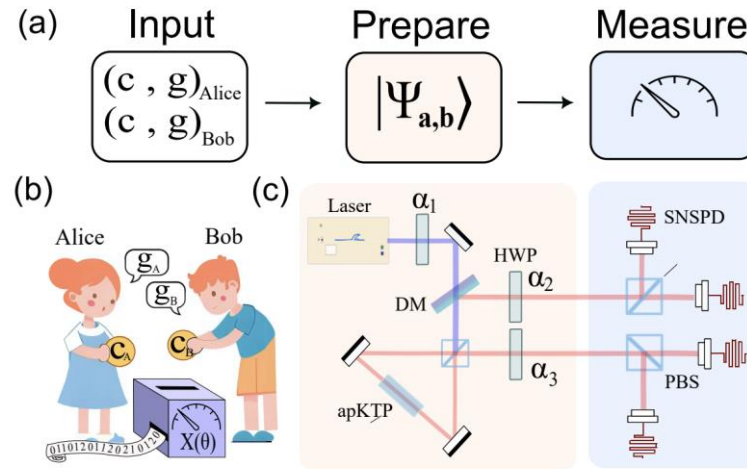
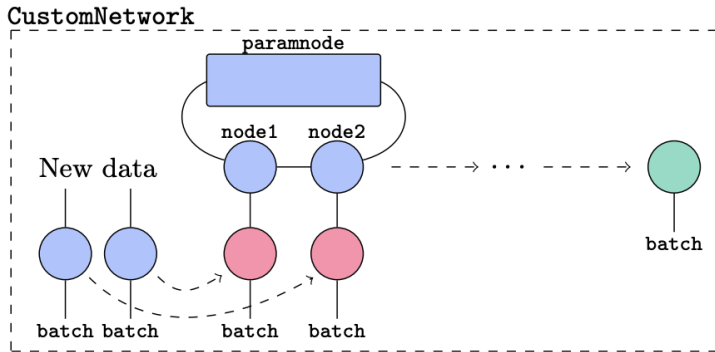
QUITEMAD-CM – ES UN CASO DE ÉXITO

LOS NODOS DE QUITEMAD CONTINUAN GENERANDO RESULTADOS Y COLABORANDO EN EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS



QUITEMAD-CM – ES UN CASO DE ÉXITO

LOS NODOS DE QUITEMAD CONTINUAN GENERANDO RESULTADOS Y COLABORANDO EN EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS CUÁNTICAS





Dirección General
de Investigación
e Innovación Tecnológica
CONSEJERÍA DE EDUCACIÓN,
CIENCIA Y UNIVERSIDADES

UNIÓN EUROPEA
Fondos Estructurales
Invertimos en su futuro



QUITEMAD-CM – ES UN CASO DE ÉXITO

**NUESTRO AGRADECIMIENTO A LA COMUNIDAD DE MADRID
POR FINANCIAR NUESTRO PROGRAMA DE PROYECTOS Y
ESPERAMOS LO MEJOR PARA EL FUTURO**

¡Por ahora, eso es todo!

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN

FIN

