

# MADQCI: DISEÑO DE LA NUEVA RED DE COMUNICACIONES CUÁNTICAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID

David Rincón

**XIX Jornadas REDIMadrid**

Madrid, 15 de octubre, 2024

**software**

# ¿Qué son las comunicaciones cuánticas?

Física Clásica  
Bits clásicos

vs  
vs

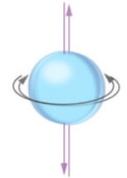
Física cuántica  
Qubits



CLASSICAL BIT



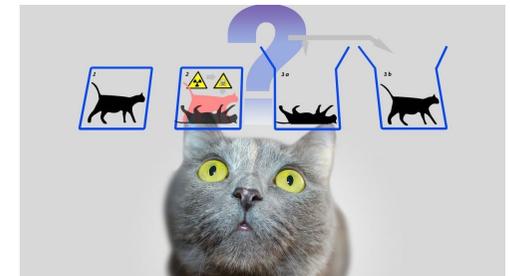
## Superposición cuántica



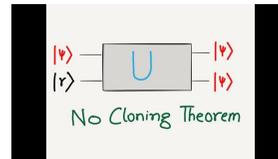
Superposición

$$|0\rangle + |1\rangle$$

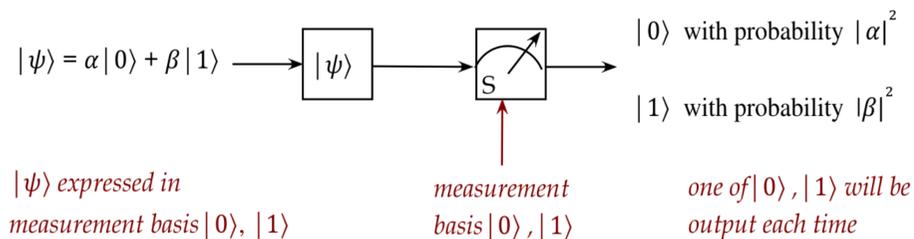
**EL GATO DE  
SCHRÖDINGER**



## 2. Teorema de la no-clonación



Este teorema fue introducido por Wootters, Zurek y Dieks en 1982 y consiste en que no se pueden realizar copias de un estado desconocido de un sistema



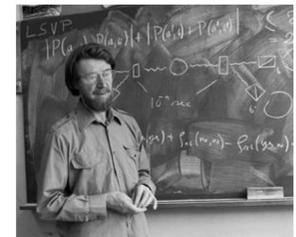
\*\*

Solo con medir el estado del qubit, este se modifica  
**Problema:** No se puede amplificar un fotón cuántico.  
**Ventaja:** No se puede copiar un fotón cuántico.

## 3. Entrelazamiento cuántico



Permite que dos partículas (fotones) separadas, incluso a kilómetros de distancia, estén conectadas de una forma que la física clásica no puede explicar.

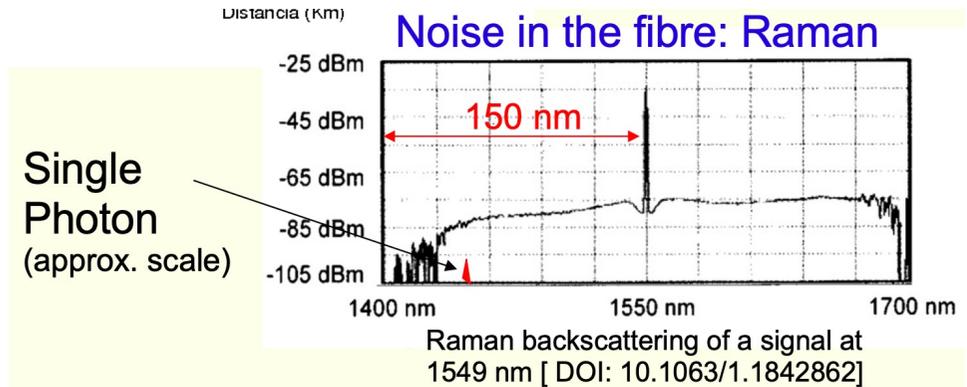
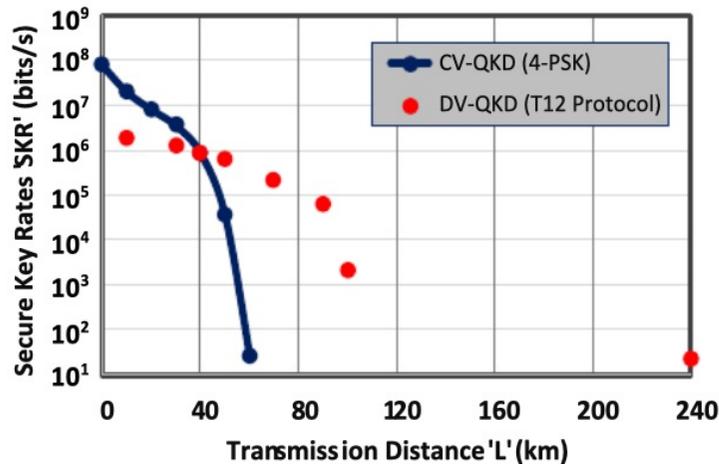


**Ventaja:** Tenemos la posibilidad de hacer repetidores cuánticos.

# ¿Se puede integrar QKD en una red real?

0 km	$10^9$ photons/sec.
15 km	$5 \cdot 10^8$
150 km	$10^6$
300 km	1000
600 km	1 p per 20 min.
900 km	1 p per 36 years

Losses in fibre 0.2 dB/km



**Problema:** límite de ~30dB, ~150km para transmitir la clave.

**Problema:** con el aislamiento de los amplificadores entre canales.

**Solución:** Trusted nodes/ repetidores cuánticos.  
Satélites para larga distancia.

Nuevos protocolos pueden llegar a 60dB, 600km

## a) ¿Tienes fibra oscura libre?

a) Construcción de una red QKD dedicada.

- Check: [arXiv:0804.0122](https://arxiv.org/abs/0804.0122)

b) Construir una red QKD dedicada pero que transmita tanto los canales QKD como los canales clásicos asociados (canal de destilado etc..)

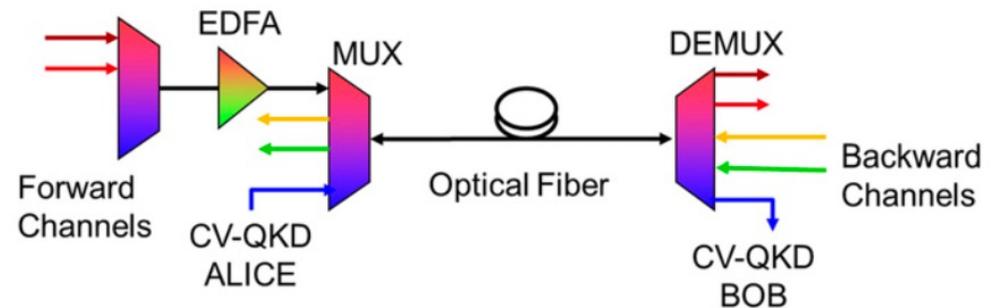
- Check: [arXiv:1309.3923](https://arxiv.org/abs/1309.3923)

## 2) ¿No Tienes fibra oscura libre? → Fully integrated quantum/clasiscal network.

a) *¿Tienes una red DWDM sin amplificación?* → integrar CV-QKD es relativamente sencillo

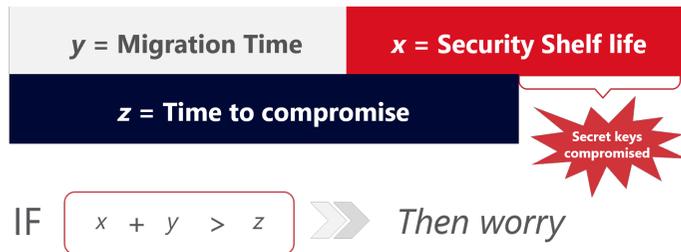
b) *¿Tienes una red DWDM con amplificación?* → Integrar CV-QKD es complicado.

- Check: [arXiv:2311.12791](https://arxiv.org/abs/2311.12791)



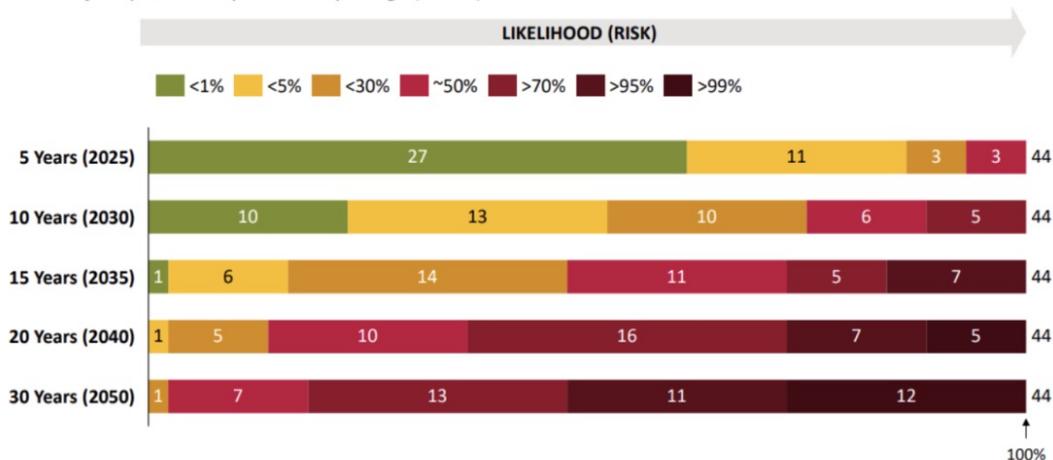
# Vale, ¿Pero, debo empezar a pensar en hacer una red cuántica?

## Teorema Mosca.



¿Cuánto tiempo tienen que estar seguros los datos que estas enviando ahora mismo por la red?

EXPERT ESTIMATES ON THE LIKELIHOOD OF A SIGNIFICANT QUANTUM THREAT TO PUBLIC-KEY CYBERSECURITY INFRASTRUCTURE AS A FUNCTION OF TIME  
 Percent of Respondents by Probability Range (n = 44)



Montar una red cuántica no es inmediato.

Mientras tanto si necesitas seguridad deberías evaluar PQC (Post-Quantum Crypto)

Source: M. Mosca and M. Piani, "Quantum Threat Timeline Report 2020", published by evolutionQ Inc / Global Risk Institute.

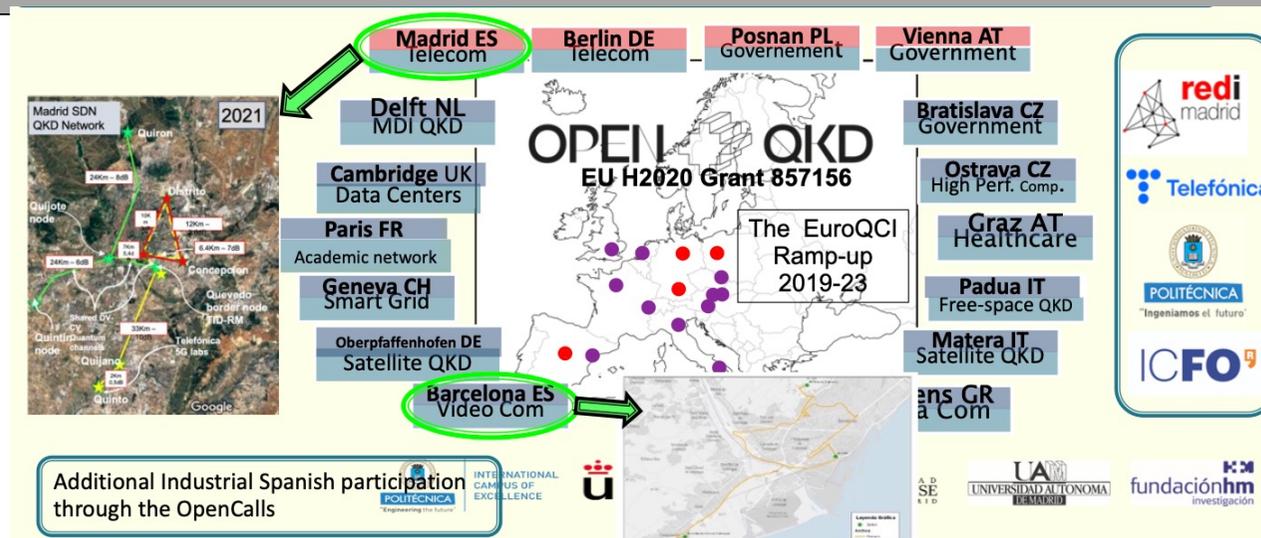
- REDIMadrid ha participado como partner en el proyecto **OPENQKD** que ha sido el proyecto europeo de tecnologías cuánticas más importante hasta la fecha.
- REDIMadrid: testbed para experimentos QKD sobre fibras ópticas (red con tráfico real + cuántico)
- Madrid (REDIMadrid): testbed más grande (germen de red cuántica permanente)



# ¿De dónde venimos? OpenQKD

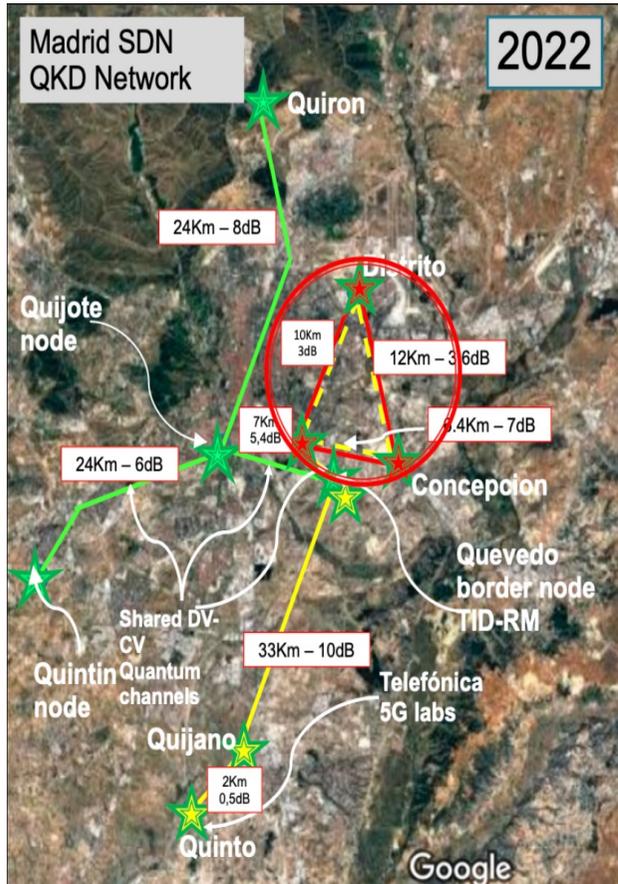
- Algunas cifras:
  - Se demuestra los casos de uso en redes reales, no en laboratorios
  - 38 partner y 18 millones de Euros y OpenCalls por valor de 1 millón de Euros.
  - 16 Test en diferentes países y 4 testbed importantes (Madrid, Berlin, Polonia y Viena)

Desplegado en los PdP de REDIMadrid durante más de 3 años con **CERO** incidencias debidas a la infraestructura cuántica.



Additional Industrial Spanish participation through the OpenCalls

**MADQCI: DISEÑO DE LA NUEVA RED DE COMUNICACIONES CUÁNTICAS EN MADRID**



**OPEN QKD**

- ★ Deployed, full installation.
- ★ Telefónica Ring
- ★ Under deployment

**BoM: (26 Q devices installed)**

- 4 QKD pairs idQ systems (3xC & 2xO band)
- 4 QKD pairs Toshiba (O band)
- ADVA optical transport equipment.
- 2 ADVA Level 1 encryptors.
- 5 R&S Level 2 SITLine encryptors
- Plus 5 HWDU CV QKD pairs (from CiViQ)

**Important: A real world network.**

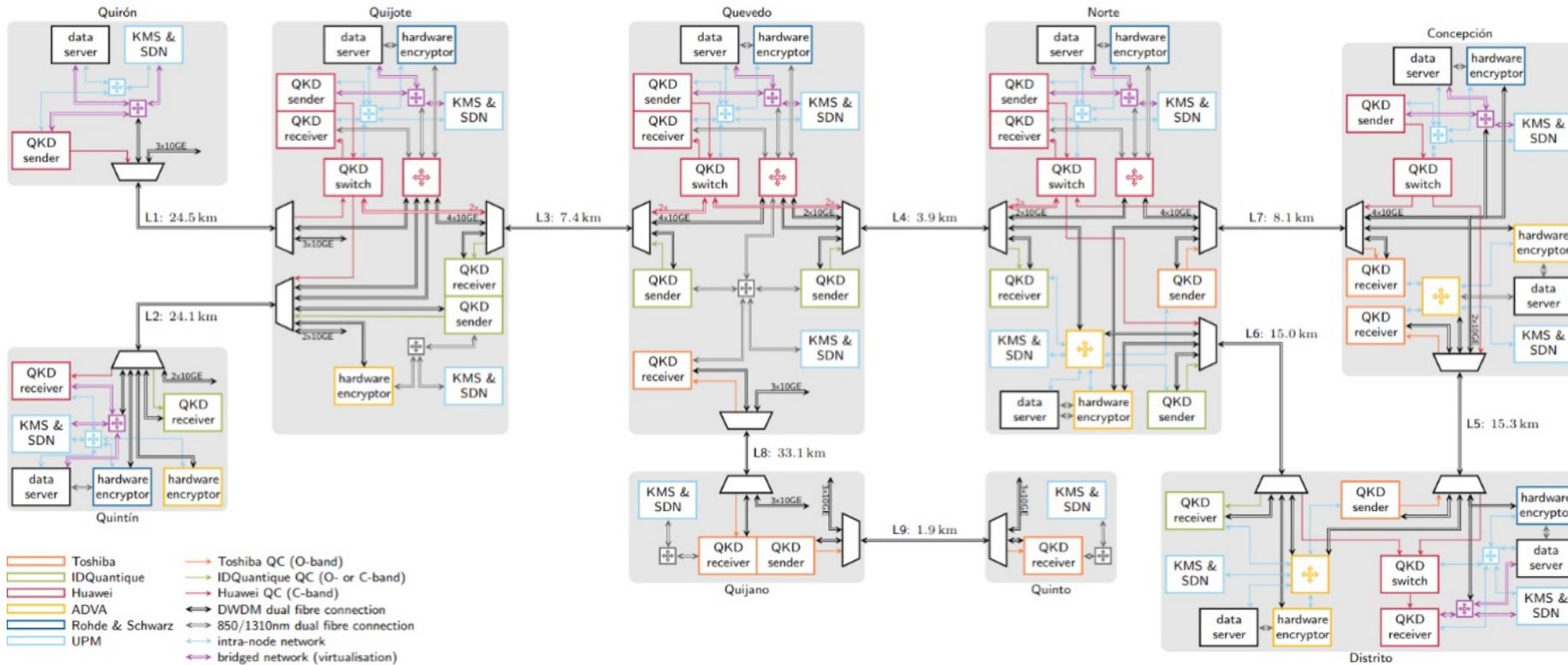
- Shared quantum and Classical infrastructure, including optical fibre. CV+DV systems on the same Fibre. Two connected operators. Several (quantum and Classical, QKD & encrypt.) manufacturers.

Logos: Telefónica, REDIMadrid, POLITÉCNICA, CiViQ

**Hitos importantes conseguidos en este proyecto a nivel de RED:**

- 1) Conexión de dos redes, a nivel cuántico, de service provide diferentes (Telefónica y REDIMadrid).
- 2) Enviar por el mismo par de fibras señal cuántica de diferentes fabricantes (Huawei e IDQ).
- 3) Hacer **RED Cuántica**, poder transmitir clave cuántica entre un nodo A contra un nodo C pasando por un nodo B. Esto Se hace posible gracias al gestor SDN de la UPM (QoolNet).





**TOSHIBA**



David Rincón

Source: [arXiv:2311.12791](https://arxiv.org/abs/2311.12791)



15 de octubre





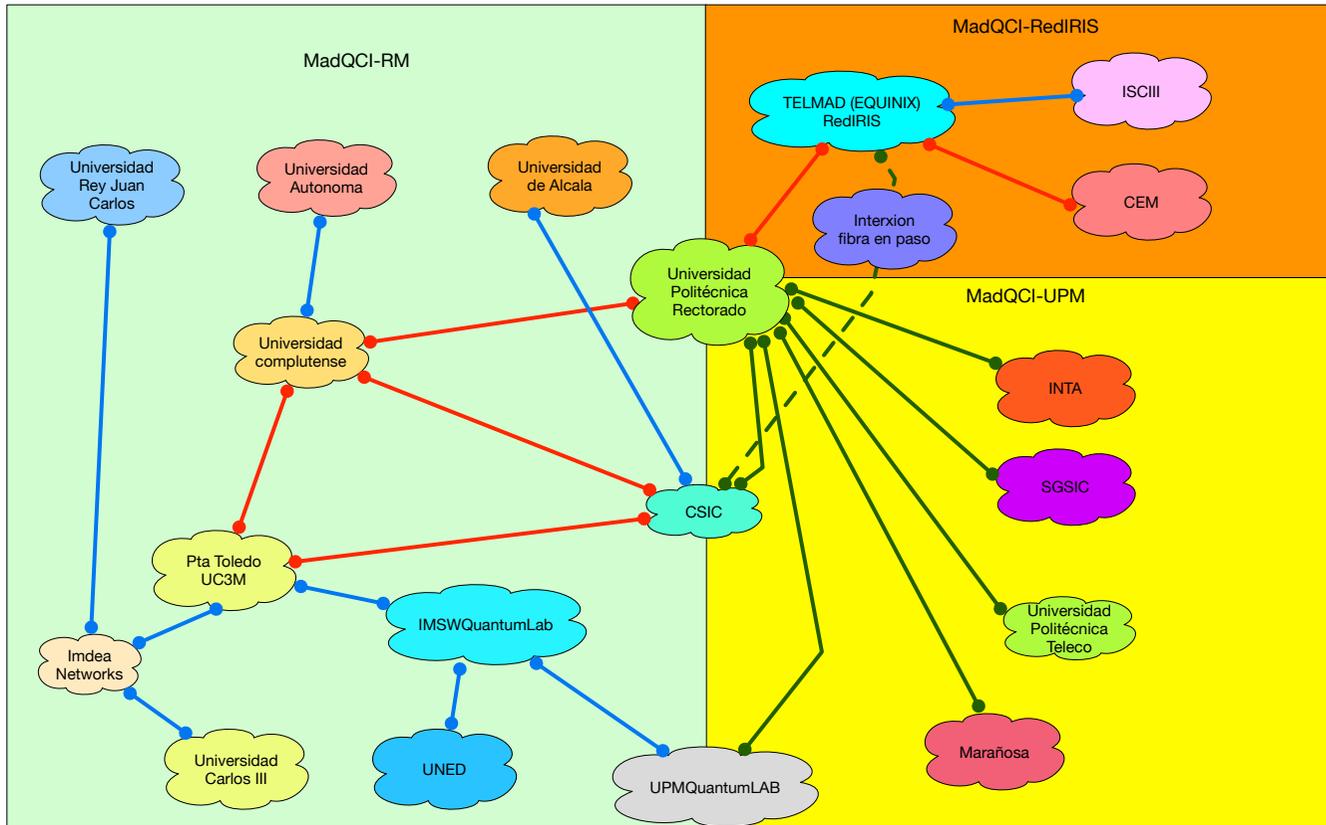
## El papel de REDIMadrid en MadQCI



- REDIMadrid ha diseñado (junto a la UPM) la red cuántica permanente para validar y desplegar la tecnología cuántica.
- La red permitirá alojar equipamiento de comunicaciones cuánticas de manera permanente, posibilitando la validación de nuevas tecnologías QKD.
- **MadQCI** conectará, a través de un despliegue metropolitano de *fibra óptica*, centros de datos de las universidades e instituciones de investigación de la Comunidad de Madrid.
- **HITO:** Fibra adjudicada a Telefónica, todas las universidades públicas están conectadas a la red cuántica de la comunidad de Madrid (MadQCI).



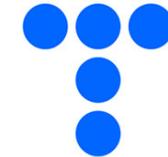
La red de fibra oscura es la siguiente:



**MADQCI: DISEÑO DE LA NUEVA RED DE COMUNICACIONES CUÁNTICAS EN MADRID**

- 3 pares de fibra (6 hilos)
- 2 pares de fibra (4 hilos)
- 2 ó 3 pares de fibra

David Rincón



Telefónica



Correos Telecom

**MadQCI en datos:**

Km de fibra oscura: ≈ 690km:

- \* 490 dos pares
- \* 200 tres o más pares

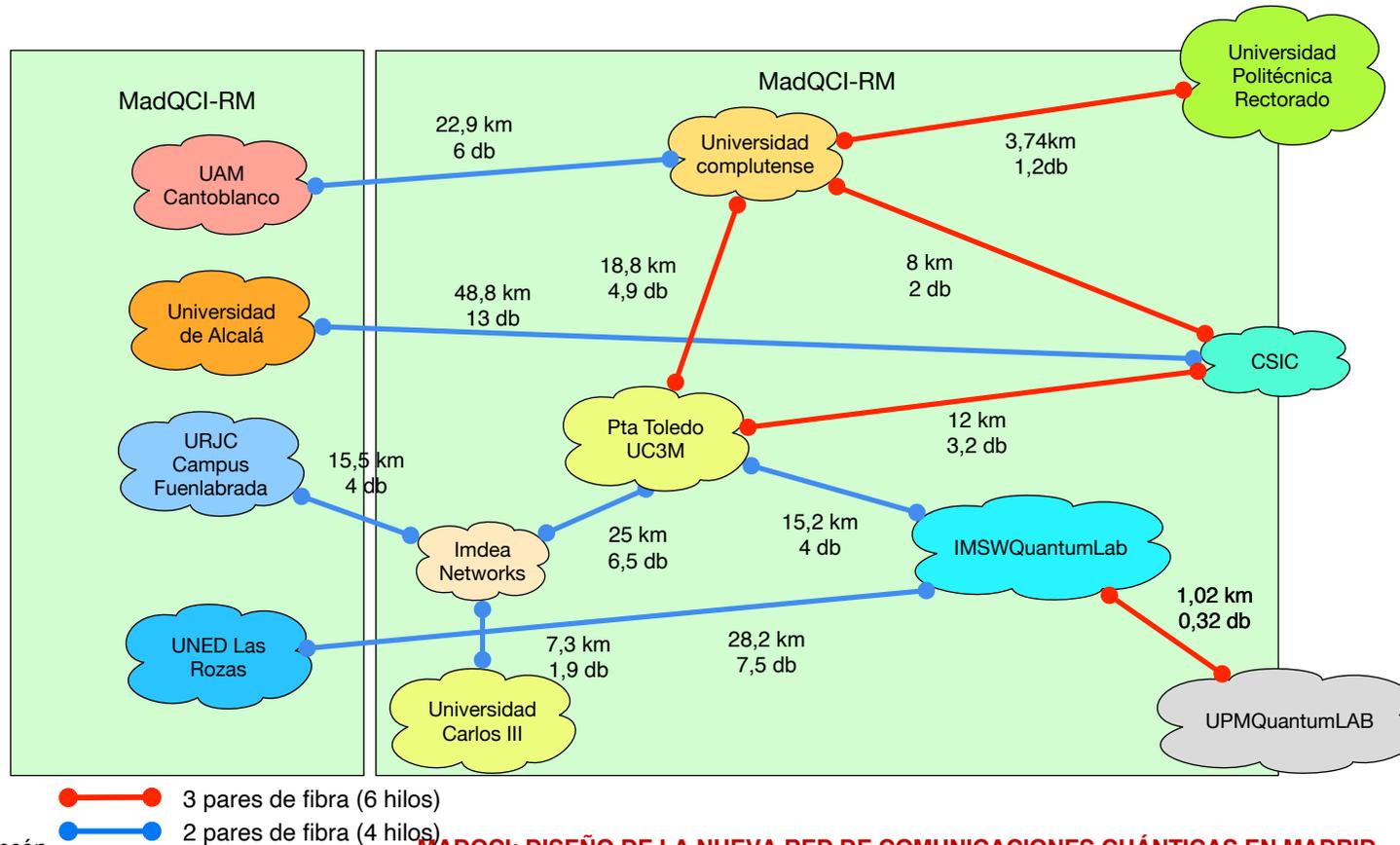
Nodos conectados:

- ≈ 26 emplazamientos
- 16 instituciones



15 de octubre

La red de fibra oscura que se ha diseñado por parte de REDIMadrid es la siguiente:



### MadQCI-RM en datos:

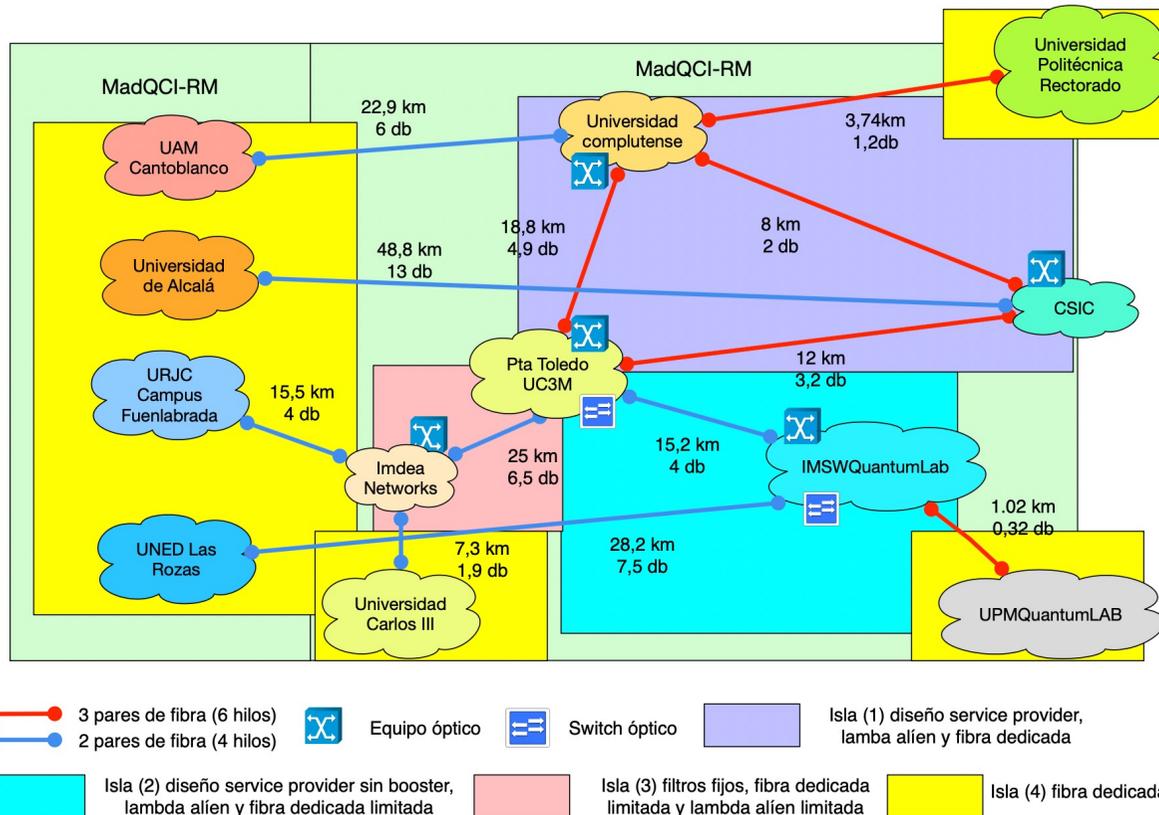
Km de fibra oscura: ≈ 440km:  
 \* 390 dos pares  
 \* 50 tres pares

Nodos conectados:  
 ≈ 12 emplazamientos  
 9 instituciones

Todas las universidades publicas  
 De la comunidad de Madrid  
 Conectadas a MadQCI

- Se pretende que se puedan probar todas las tecnologías de comunicaciones cuánticas actuales (variable continua, variable discreta, entrelazamiento, MDI, etc...) y ¿todas las tecnologías de comunicaciones cuánticas futuras?.
- Para el diseño se ha promovido el concepto “Islas”, para ello en la red se van a crear varias islas:
  - **Isla (1)** Sistema óptico completo con ROADM, Booster y Pre-amplificador, Isla RODAM total, isla de operador.
  - **Isla (2)** Sistema óptico completo con ROADM y Pre-amplificador, Isla RODAM sin booster.
  - **Isla (3)** Sistema óptico con filtros fijos y sin amplificación, Isla FOADM co-propagando la lambda cuántica.
  - **Isla (4)** Fibra dedicada, Isla con fibra disponible separada de la red DWDM.
  - Además de banda C, también se podrá poner lambda cuántica co-propagada en banda O y en banda L

- Diseño de islas en MadQCI-RM:



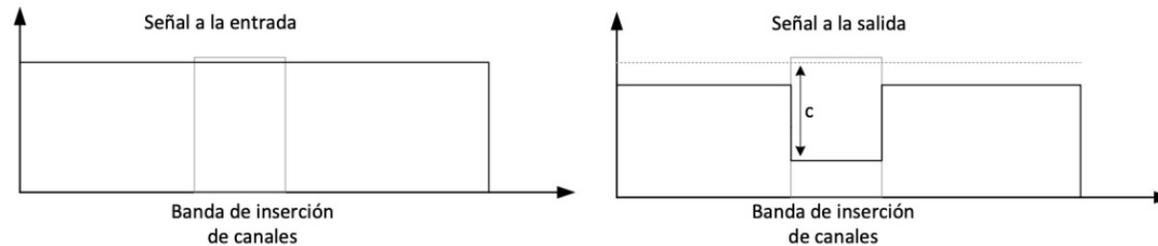
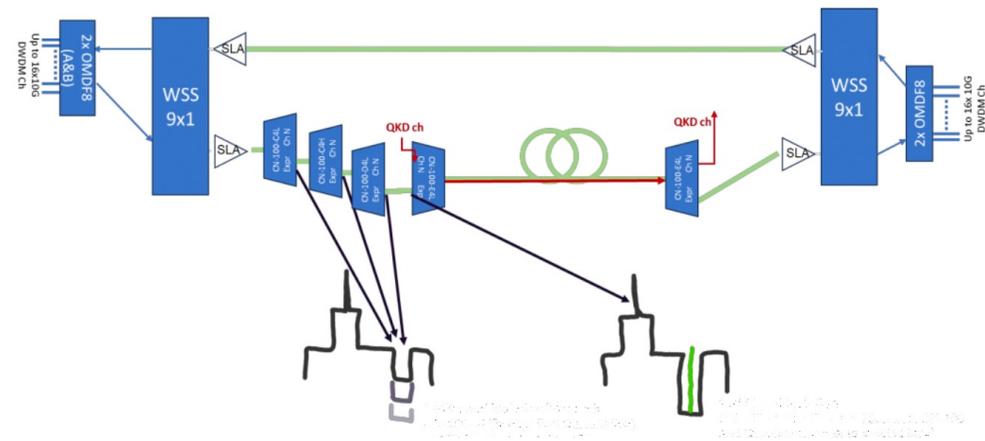
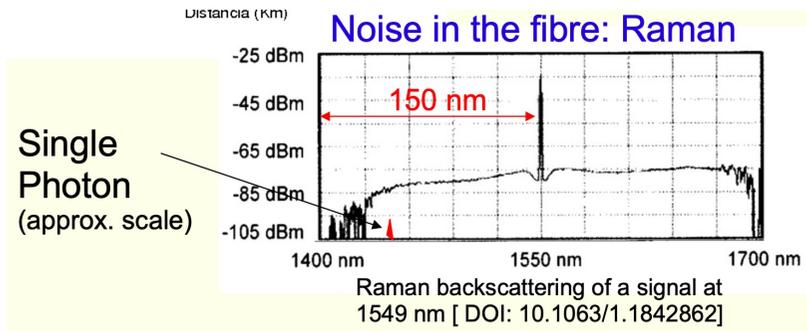
**Isla (1)** Sistema óptico completo con ROADM, Booster y Pre-amplificador

**Isla (2)** Sistema óptico completo con ROADM y Pre-amplificador y sin Booster

**Isla (3)** Sistema óptico con filtros fijos y sin amplificación

**Isla (4)** Fibra dedicada

- El mayor problema es el aislamiento debido a la amplificación de una red DWDM, el objetivo de la red cuántica de Madrid es conseguir un aislamiento de unos 100dBm, sobre todo en el escenario de red de operador con booster:



## Pasemos a la realidad cuántica



**EL GATO DE  
SCHRÖDINGER**





**C. Sanchez<sup>1</sup>,  
V. Martin<sup>2</sup>, J. P. Brito<sup>2</sup>, L. Ortíz<sup>2</sup>, A. J. Sebastian<sup>2</sup>,  
D. R. Lopez<sup>3</sup>, A. Pastor<sup>3</sup>,  
D. Rincón<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup> IMDEA Software/RedIMadrid, 28660 Madrid. Spain*

*<sup>2</sup> Center for Computational Simulation and ETSI Informáticos, Universidad Politécnica de Madrid 28660 Madrid, Spain*

*<sup>3</sup> Telefónica Investigación y Desarrollo, Ronda de la Comunicación s/n 28050 Madrid. Spain*

thank you!

¿PREGUNTAS?

**David Rincón**

david.rincón@imdea.org

**software.imdea.org**

software