



Computación Cuántica on the road

La apuesta de GMV por la Computación Cuántica

© GMV – All rights reserved

GMV-CONFIDENTIAL

The information contained within this document is considered as "GMV-CONFIDENTIAL". The receiver of this information is allowed to use it for the purposes explicitly defined, or the uses contractually agreed between the company and the receiver; observing legal regulations in intellectual property, personal data protection and other legal requirements where applicable.

gmv[®]
INNOVATING SOLUTIONS

GMV: Presentación de la empresa

- GMV es un grupo tecnológico español fundado en **1984**, de **capital privado** y con presencia internacional.
- Opera en los **sectores de**: espacio, aeronáutica, defensa y seguridad, ciberseguridad, sistemas inteligentes de transporte, automoción, sanidad, telecomunicaciones y tecnologías de la Información.
- Con una plantilla **de más de 3.000** profesionales.
- La compañía **cuenta con filiales** en España, EE.UU., Alemania, Francia, Polonia, Portugal, Rumanía, Reino Unido, Países Bajos, Bélgica, Malasia y Colombia.
- La estrategia de crecimiento de la compañía está basada en la innovación continua, dedicando un **10 % de su facturación a I+D+i**.



Búsqueda de la ventaja cuántica

“Los avances cuánticos están revolucionando la computación”



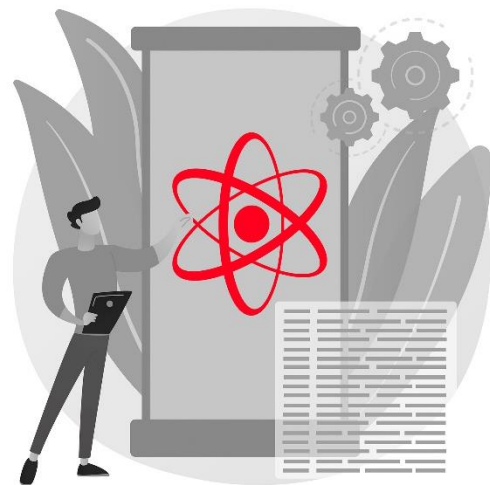
Oportunidad de resolver problemas complejos que antes no podían resolverse debido a la limitación de tiempo y recursos.



Introduce nuevos paradigmas en algoritmos, plataformas, comunicación y seguridad.

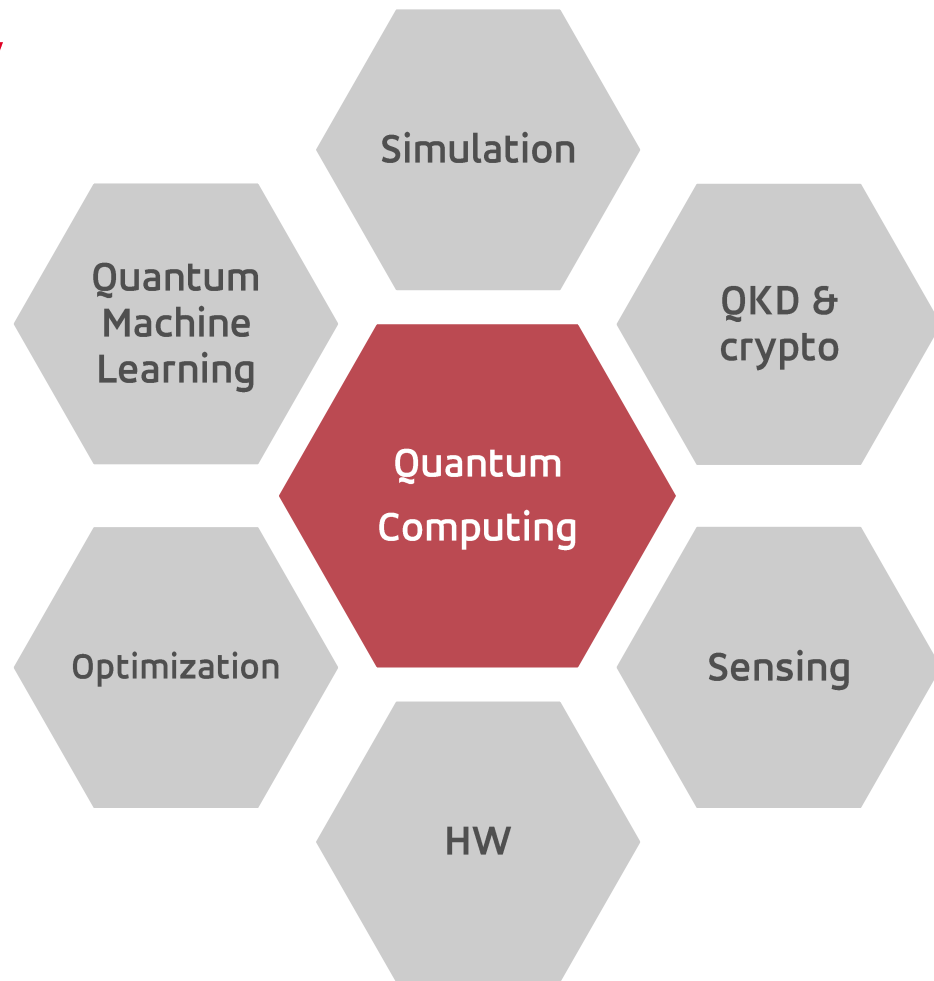


Ofrece un medio para modelar y simular escenarios del mundo real que antes estaban demasiado simplificados.



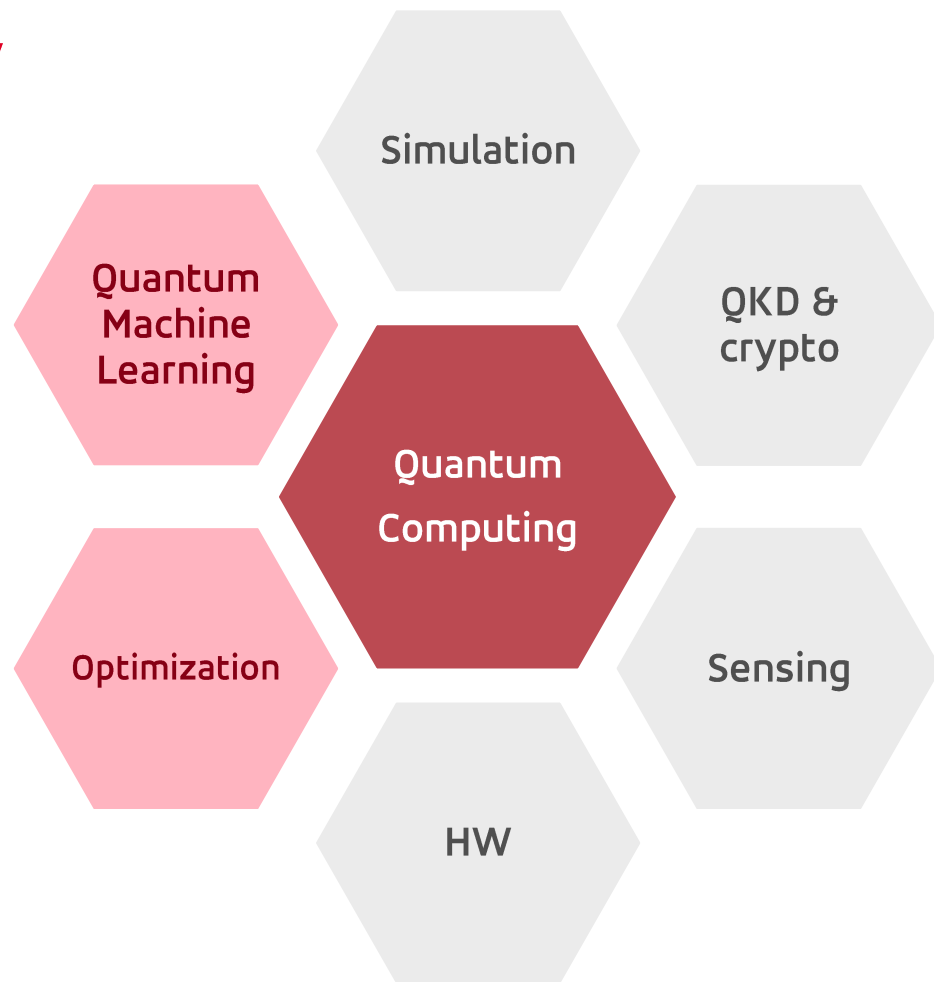
Computación cuántica en GMV

¿Qué hacemos en GMV?



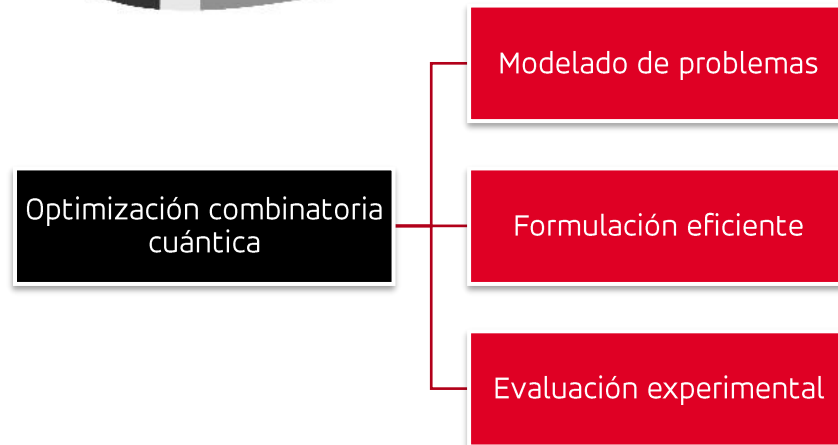
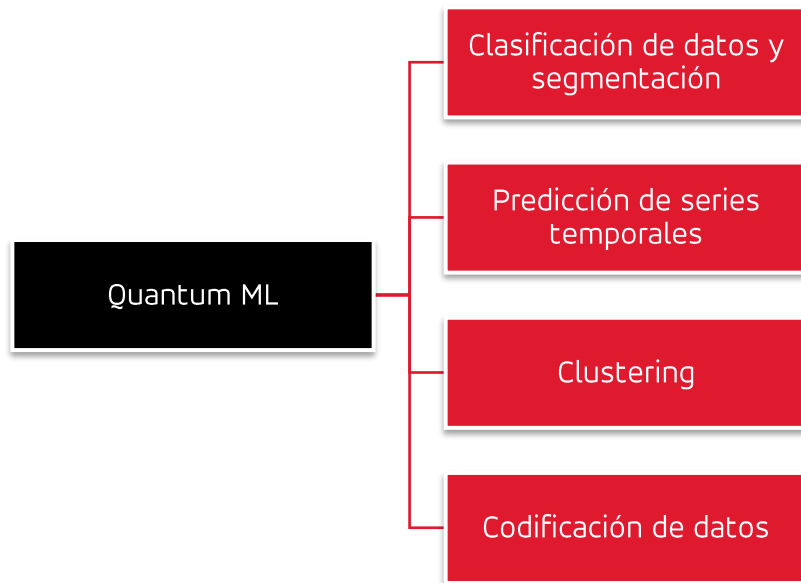
Computación cuántica en GMV

¿Qué hacemos en GMV orientado a Inteligencia Artificial?



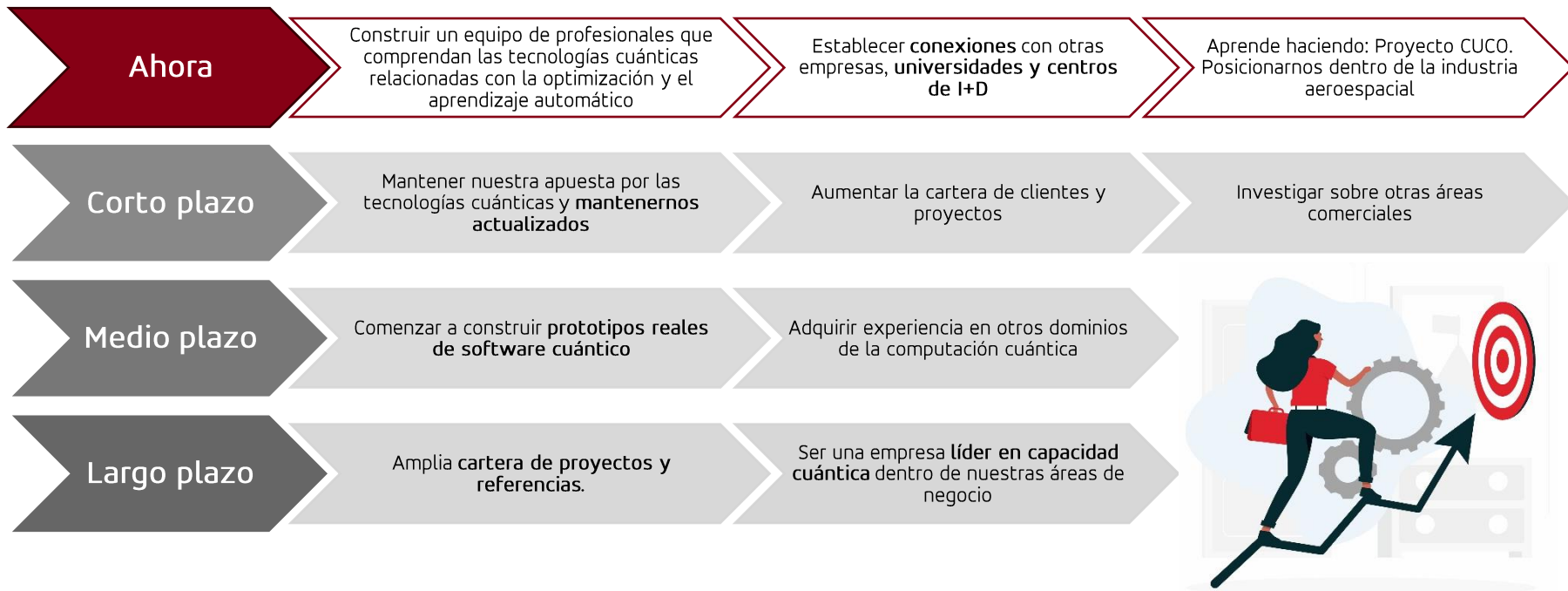
Computación cuántica en GMV

¿Qué hacemos en GMV orientado a Inteligencia Artificial?



Computación cuántica en GMV

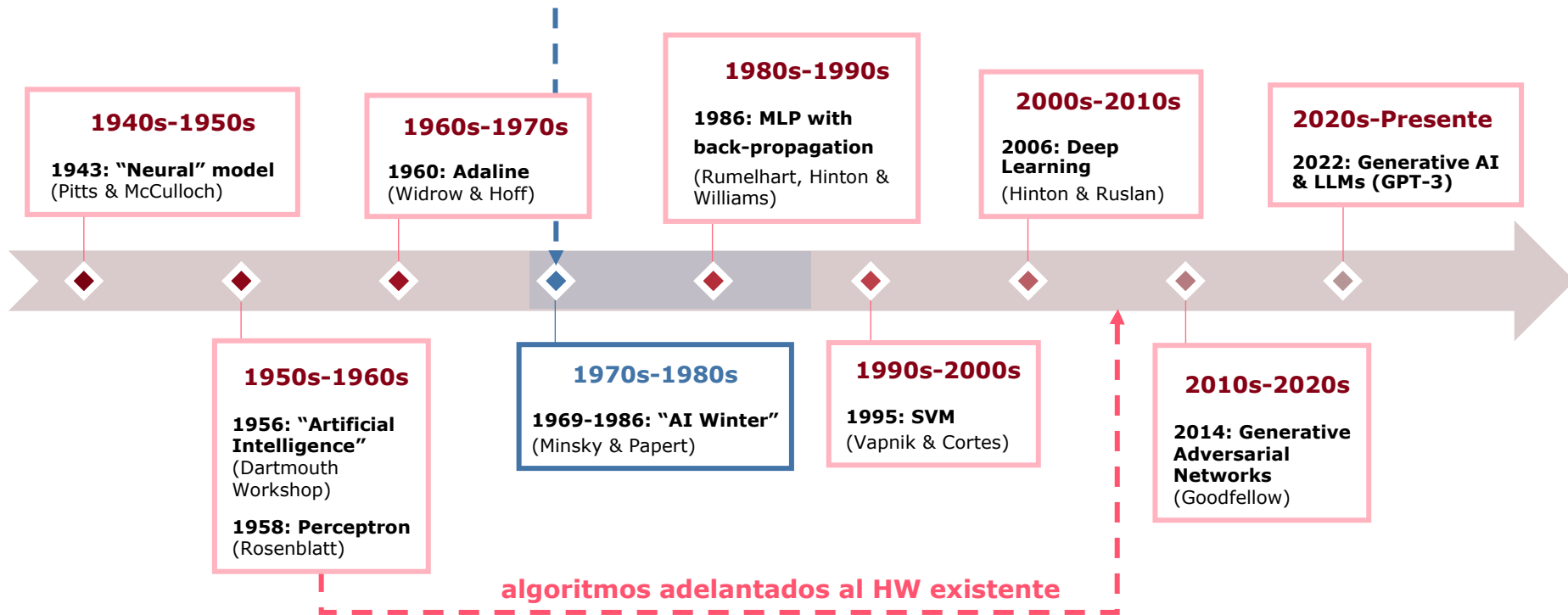
¿Cuál es nuestro Roadmap?



¿Cómo emprender el viaje hacia la computación cuántica?

Machine Learning

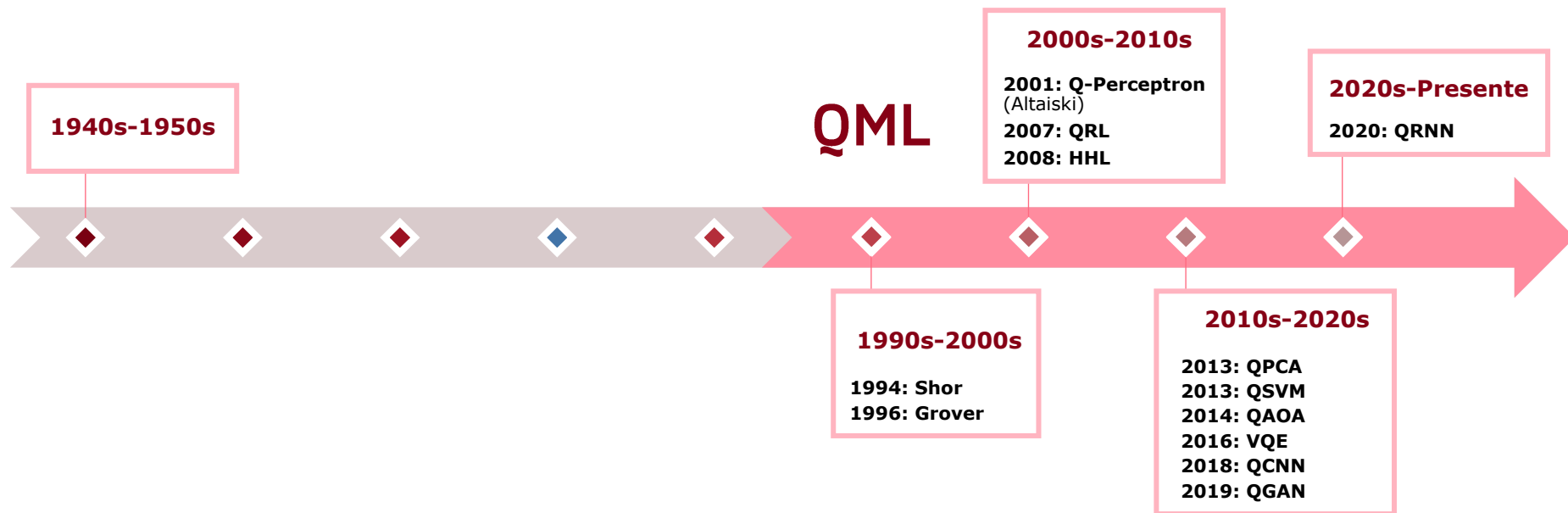
expectativas » resultados → escepticismo → invierno



¿Cómo emprender el viaje hacia la computación cuántica?

Quantum Machine Learning

NISQ (Noisy Intermediate Scale Quantum)



Proyecto CUCO



CUCO es el primer gran proyecto nacional de computación cuántica que pretende avanzar en el estado del arte de los algoritmos cuánticos y aplicar este conocimiento a una serie de pruebas de concepto en diferentes sectores estratégicos de la economía española: Energía, Finanzas, Espacio, Defensa. y Logística.

DEFINICIÓN

QUANTUM COMPUTING

CONSORCIO

COORDINADOR



SOCIOS DE NEGOCIO



SOCIOS TECNOLÓGICOS



OBJETIVOS

- | | | | |
|---|---|---|---|
| 1 | Avanzar en el conocimiento científico y tecnológico de los algoritmos de computación cuántica a través de asociaciones público-privadas para acelerar el despliegue de estas tecnologías. | 2 | Identificar varios casos de uso relevantes en los que se puede realizar PoC para estudiar si la computación cuántica mejora el rendimiento de la computación clásica y evaluar esta posible mejora. |
| 3 | Compartir mejores prácticas entre centros de conocimiento y empresas, en áreas tecnológicas y de negocio, posibilitando una colaboración efectiva como entidades no competitivas. | 4 | Posicionar al Consorcio y sus empresas como referente en computación cuántica en sus sectores de aplicación, permitiendo su participación en iniciativas internacionales. |

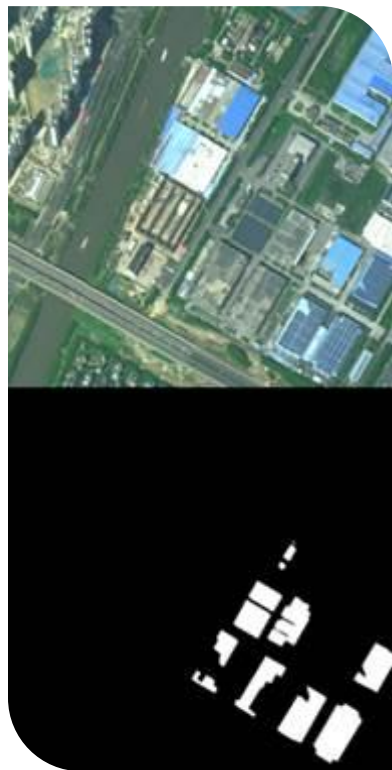


Proyecto subvencionado por el CDTI y apoyado por el Ministerio de Ciencia e Innovación bajo el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.



Proyecto CUCO: Casos de uso (1)

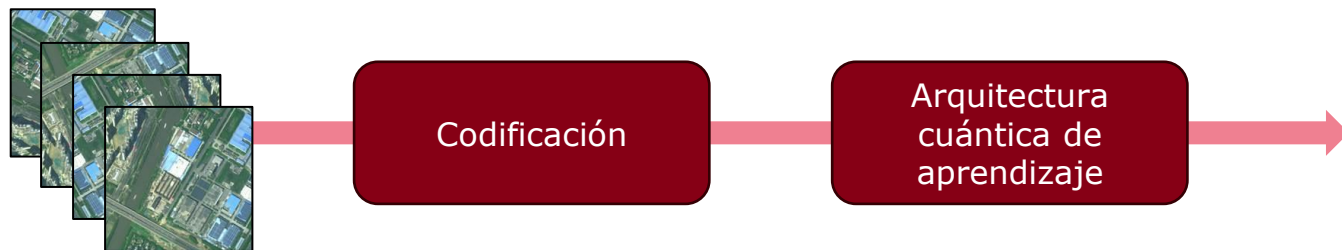
Identificación de paneles fotovoltaicos



El problema:

- **Clasificación:** Determina si hay o no paneles fotovoltaicos en un área (parche).
- **Segmentación:** Para aquellas áreas donde se ha identificado la presencia de paneles, determinar la región exacta donde se encuentran, mediante segmentación semántica.

Retos de un enfoque basado en QML:



Proyecto CUCO: Casos de uso (1)

Identificación de paneles fotovoltaicos

Codificación de imágenes: Representación de la información de la imagen en estados cuánticos

- FRQI



θ_0	θ_1
θ_2	θ_3

Información	representada por...
Color (B/N, Grayscale, RGB)	Ángulo θ_i
Posición (x, y)	Estados ($ 0\rangle, 1\rangle$)

$$|\Psi\rangle = \frac{1}{2}[(\cos\theta_0|0\rangle + \sin\theta_0|1\rangle) \otimes |00\rangle + (\cos\theta_1|0\rangle + \sin\theta_1|1\rangle) \otimes |01\rangle + (\cos\theta_2|0\rangle + \sin\theta_2|1\rangle) \otimes |10\rangle + (\cos\theta_3|0\rangle + \sin\theta_3|1\rangle) \otimes |11\rangle]$$

Problemas con imágenes reales (alta resolución):

- Requieren excesivo número de qubits o pérdida de resolución
- Este tipo de enfoque aumenta en exceso la profundidad del circuito → Mayor vulnerabilidad al ruido

Alternativas:

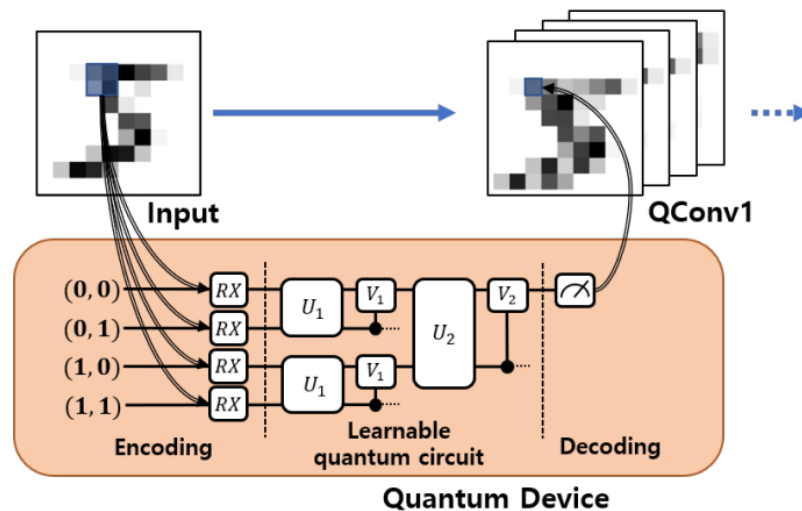
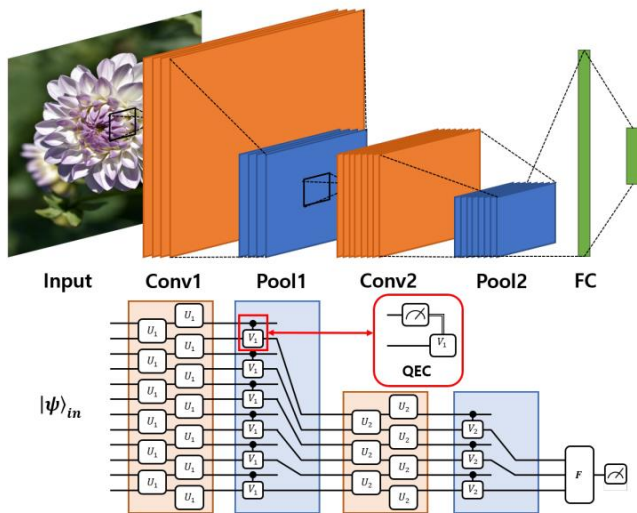
- Reducción de dimensionalidad mediante métodos clásicos (**bottleneck features**)
- Arquitecturas híbridas

Proyecto CUCO: Casos de uso (1)

Identificación de paneles fotovoltaicos

Arquitecturas cuánticas de aprendizaje:

- Quantum Convolutional Neural Network (QCNN)



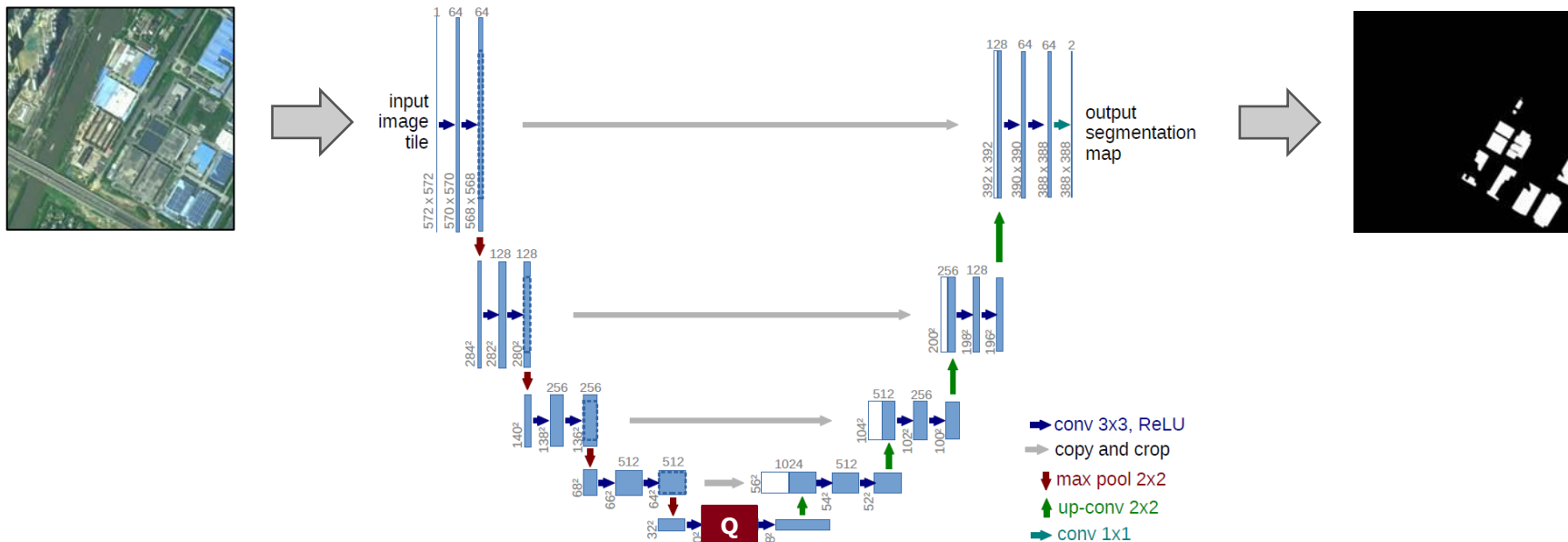
Oh, S., Choi, J., & Kim, J. (2020, October). A tutorial on quantum convolutional neural networks (QCNN). In *2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)* (pp. 236-239). IEEE.

Proyecto CUCO: Casos de uso (1)

Identificación de paneles fotovoltaicos

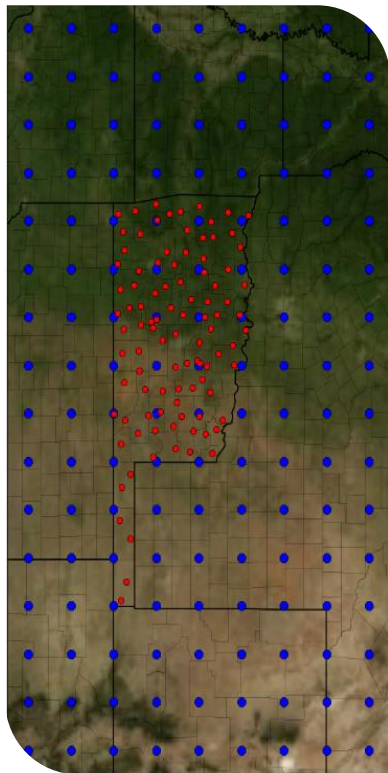
Enfoques híbridos de arquitecturas de aprendizaje:

- QNN Híbrida: Q-UNet



Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

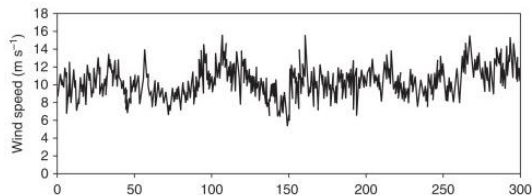
Ajuste de previsiones meteorológicas en zonas de interés locales



El problema:

- **Predicción** a corto plazo de la velocidad y dirección del viento en zonas de interés utilizando series temporales de las estaciones meteorológicas.

Retos de un enfoque basado en QML:



Codificación

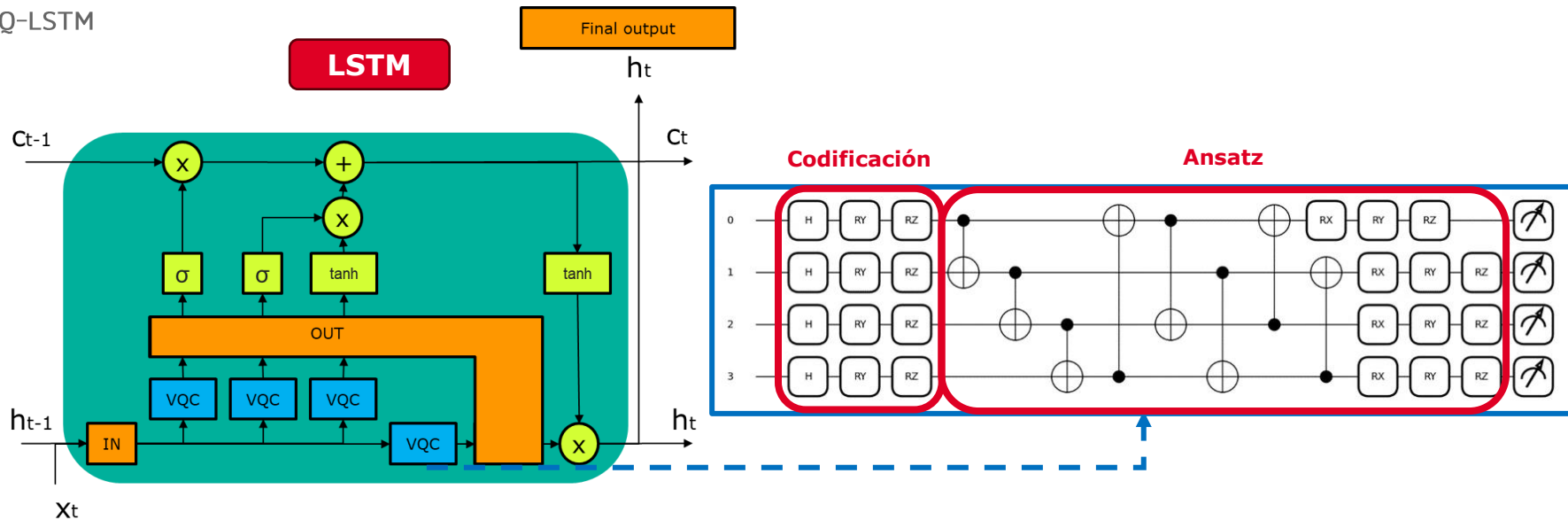
Arquitectura
cuántica de
aprendizaje

Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

Ajustar las previsiones meteorológicas en zonas de interés locales

Enfoques híbridos de arquitecturas de aprendizaje:


- Q-LSTM



Legend:

Layer	ComponentwiseCopy	Concatenate
		

Quantum Layer

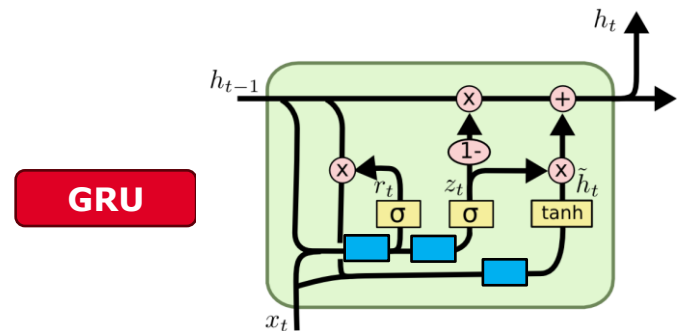
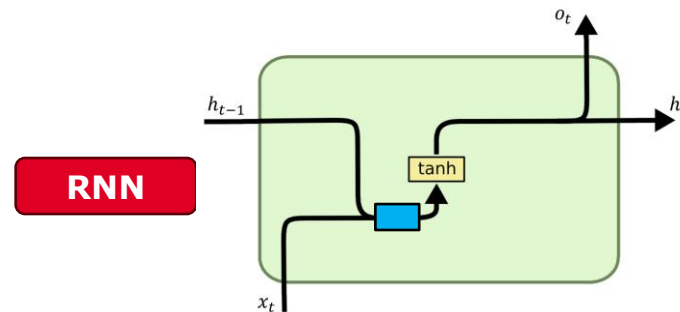
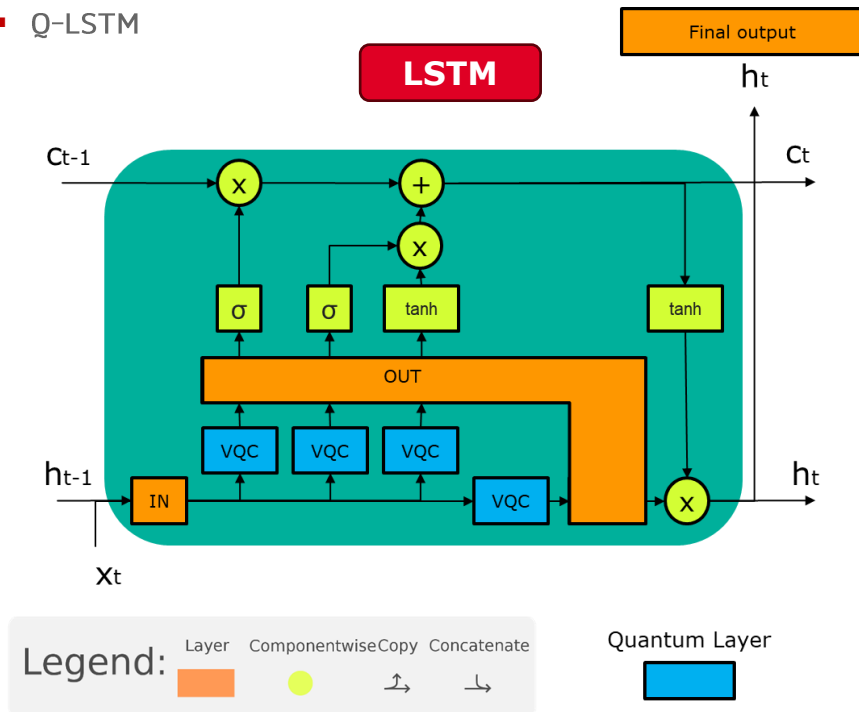


Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

Ajustar las previsiones meteorológicas en zonas de interés locales

Enfoques híbridos de arquitecturas de aprendizaje:

- Q-LSTM

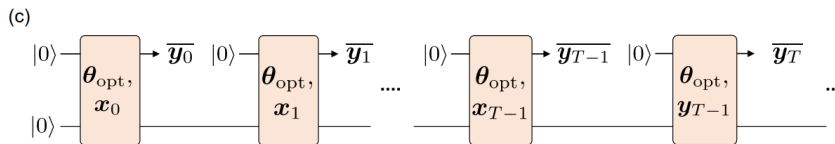
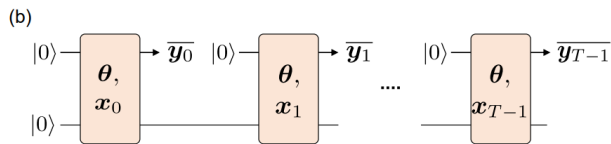
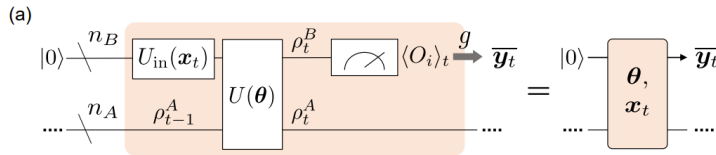


Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

Ajustar las previsiones meteorológicas en zonas de interés locales

Arquitecturas cuánticas de aprendizaje:

- Proceso de recurrencia cuántico
 - Una parte del circuito para la carga de datos de nuevos instantes temporales
 - La otra para conservar el estado (información) de los instantes temporales anteriores



Takaki, Y., Mitarai, K., Negoro, M., Fujii, K., & Kitagawa, M. (2021). Learning temporal data with a variational quantum recurrent neural network. *Physical Review A*, 103(5), 052414.

Proyecto CUCO: Casos de uso (3)

Optimización de obtención de imágenes satelitales

El problema

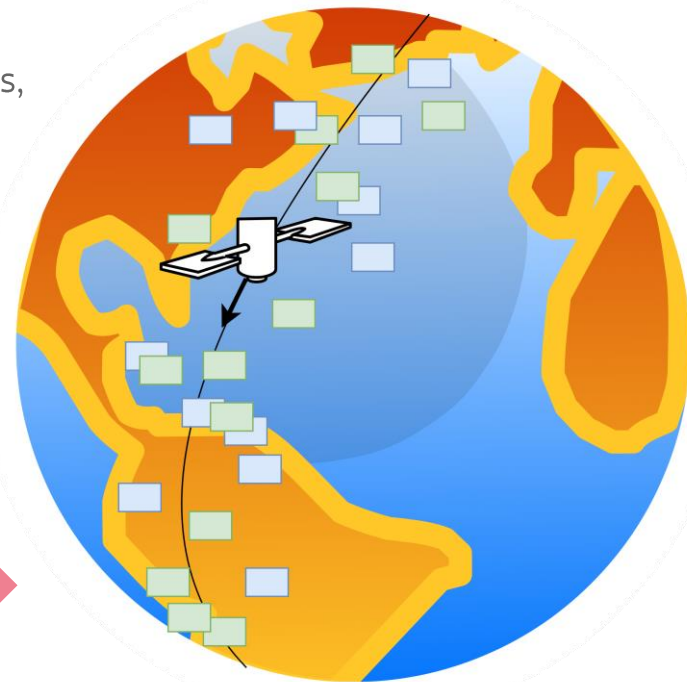
- Dado un satélite con órbita fija y un conjunto de imágenes solicitadas, se busca obtener el subconjunto de imágenes que maximice el valor total de las imágenes, considerando ciertas restricciones (capacidad, tiempos de maniobra, etc.).

Retos del enfoque basado en optimización cuántica:

8									
0	1	3	1	0	2	0	3	0	
1	1	3	1	0	2	0	3	0	
2	1	3	1	0	2	0	3	0	
3	1	3	1	0	2	0	3	0	
4	2	1	13	0					
5	2	1	13	0					
6	2	1	13	0					
7	2	1	13	0					
7									
2	1	0	3	3	2	2	1	1	
2	2	0	3	3	2	2	1	1	
2	3	0	3	3	2	2	1	1	
2	5	4	13	13					
2	5	6	13	13					
2	2	1	3	3	2	2	1	1	
2	3	1	3	3	2	2	1	1	

Formulación

Arquitectura
cuántica de
optimización



Proyecto CUCO: Casos de uso (3)

Optimización de obtención de imágenes satelitales

Formulación matemática ILP

Imágenes solicitadas: $i \in \{0, 1, 2, \dots, N\}$

$x_{i,1} = 1 \rightarrow$ tomar imagen i con cámara 1

$x_{i,2} = 1 \rightarrow$ tomar imagen i con cámara 2

$x_{i,3} = 1 \rightarrow$ tomar imagen i con cámara 3

$x_{i,4} = 1 \rightarrow$ tomar imagen estéreo i con cámaras 1 y 3

$x_{i,j} = 0 \rightarrow$ no tomar imagen i con cámara(s) j

- Función objetivo y restricciones lineales
- Variables enteras (binarias)



Problema ILP

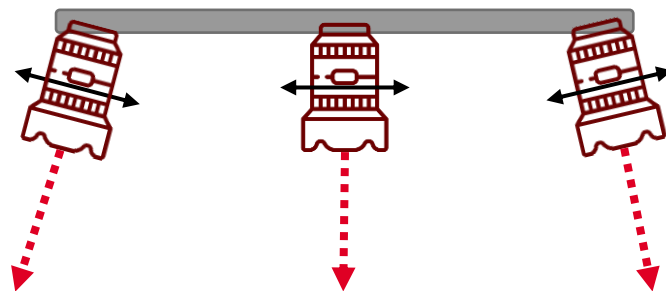
$$\begin{aligned} & \text{máx } c^T x \\ & \text{sujeto a: } Ax \leq b \\ & x \in Z_+^n \end{aligned}$$

$c \in \mathbb{R}^n$ es el vector de costes

$A \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ es la matriz de restricciones

$b \in \mathbb{R}^m$ las capacidades

$x \in Z_+^n$ las variables de decisión



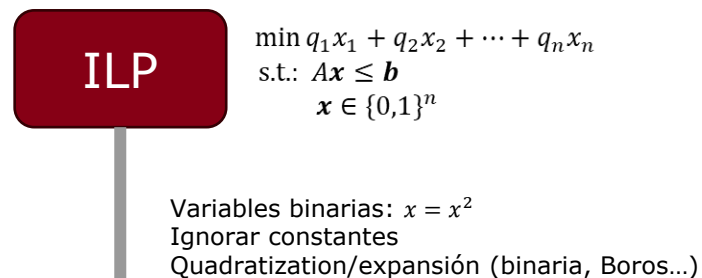
Problema NP-completo

Proyecto CUCO: Casos de uso (3)

Optimización de obtención de imágenes satelitales

Optimización basada en Quantum Annealing

- Requiere formulación QUBO (Quadratic Unconstrained Binary Optimization)



Solvers cuánticos/híbridos

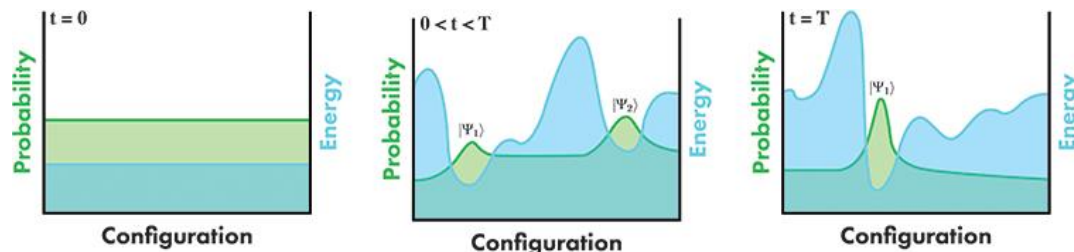
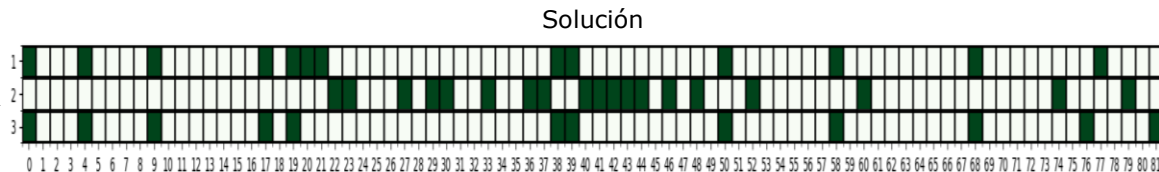


Image source: Grant, E., & Humble, T. Adiabatic Quantum Computing and Quantum Annealing. *Oxford Research Encyclopedia of Physics*.

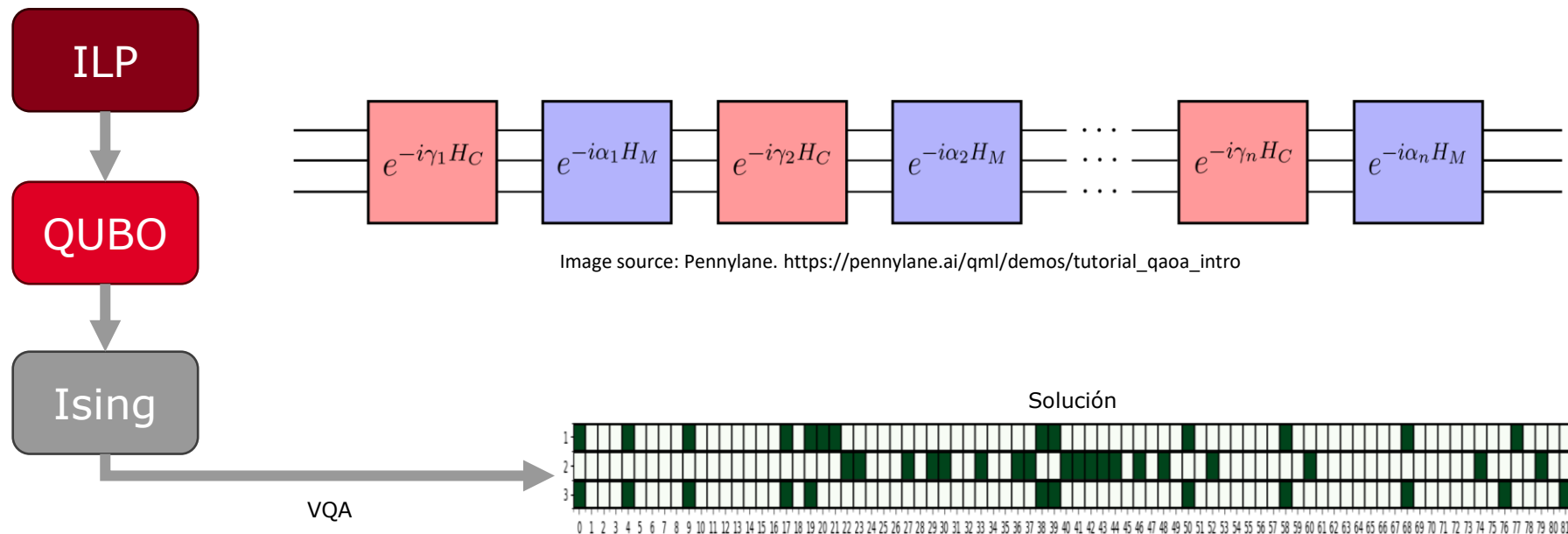


Proyecto CUCO: Casos de uso (3)

Optimización de obtención de imágenes satelitales

Optimización basada en puertas

- Variational Quantum Algorithms (QAOA) a partir de formulación Ising



Conclusiones

▪ Computación Cuántica en era NISQ:

- TRL muy bajo: Oportunidad a través de I+D+i y análisis de las técnicas existentes para la resolución de problemas reales
- QML: Fase de investigación y desarrollo algorítmico paralelo al desarrollo HW
- Optimización: Mayor avance y viabilidad de las soluciones
- Constante evolución del estado del arte
- Responsabilidad en el mensaje: Gestión de expectativas

▪ Proyecto CUCO:

- Inversión público-privada
- Posicionamiento de las empresas españolas en el campo de la cuántica
- Viabilidad del uso de técnicas de computación cuántica para afrontar casos de uso de la Industria
- Papers actuales → ¿Futura incorporación en procesos productivos?

Gracias

Alexander Benítez Buenache

(abenitez@gmv.com)

