



# 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**<sup>®</sup>  
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”



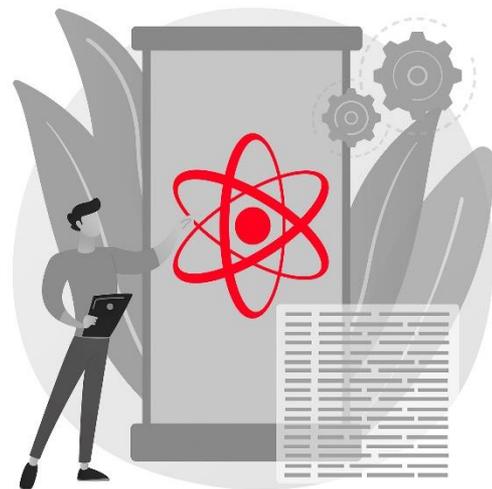
Oportunidad de resolver problemas complejos que antes no podían resolverse debido a la limitación de tiempo y recursos.



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

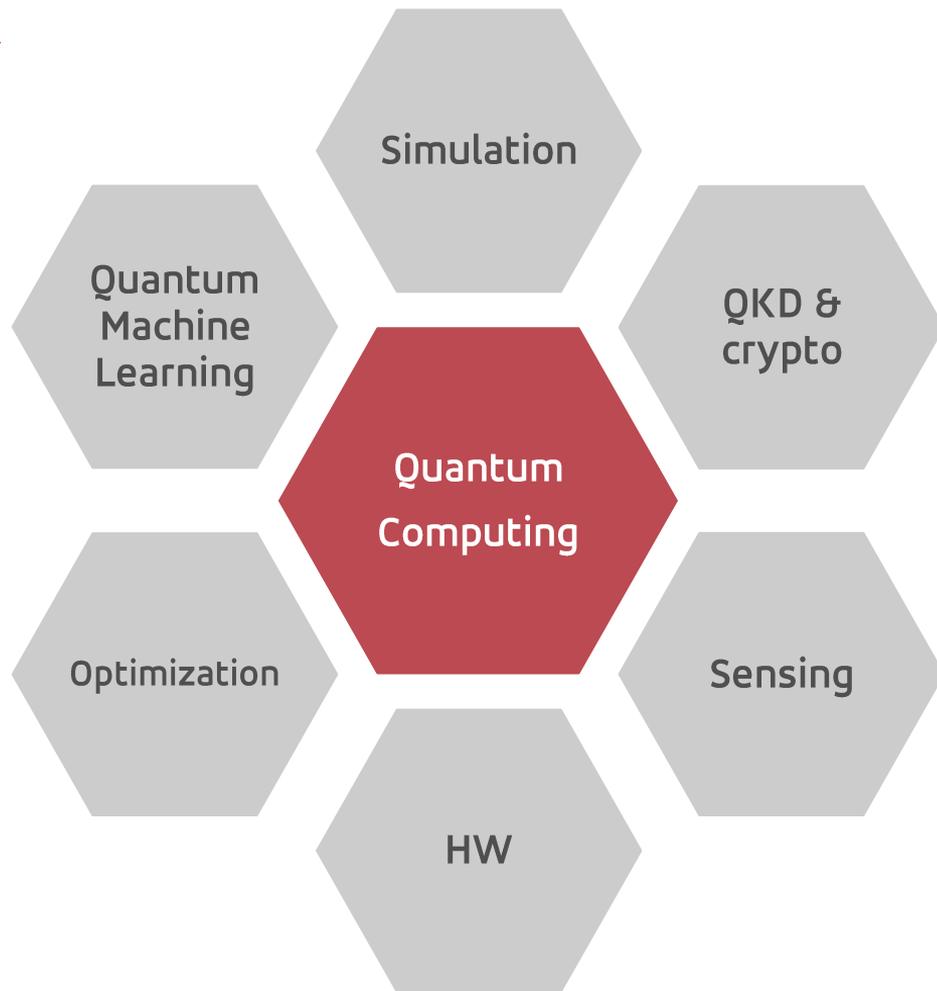


Ofrece un medio para modelar y simular escenarios del mundo real que antes estaban demasiado simplificados.



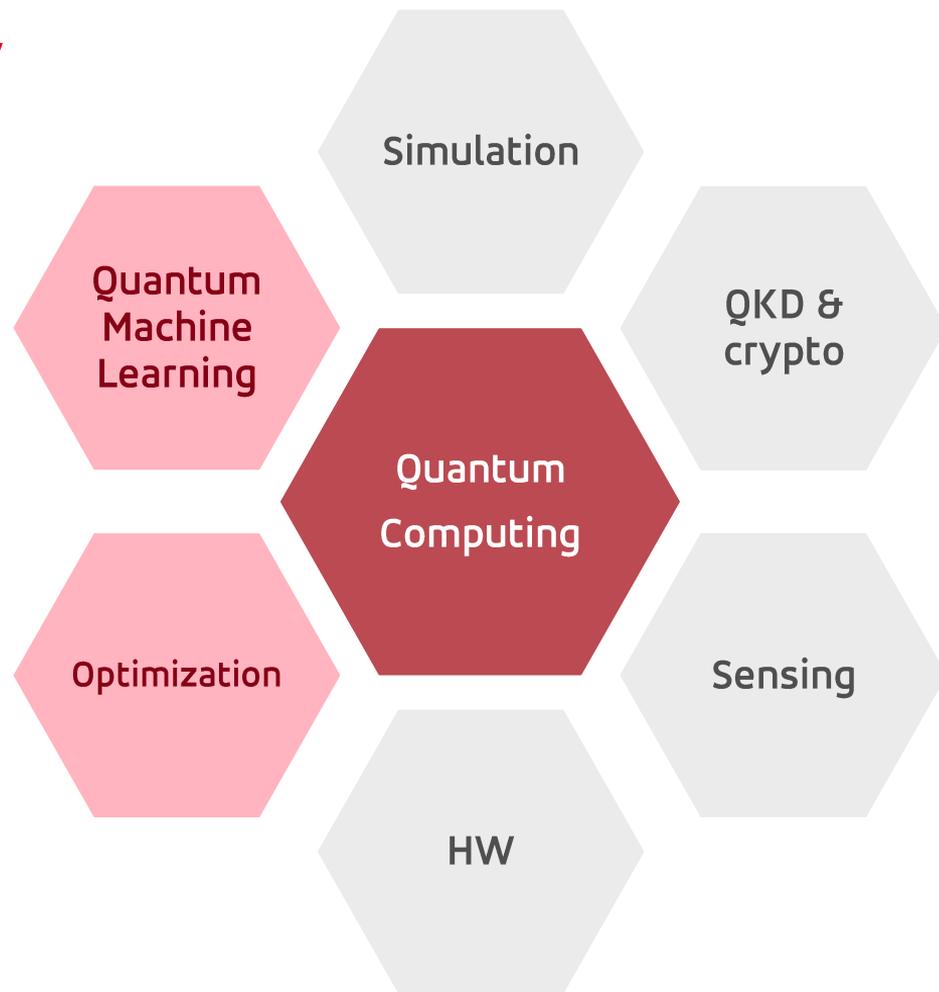
# Computación cuántica en GMV

¿Qué hacemos en GMV?



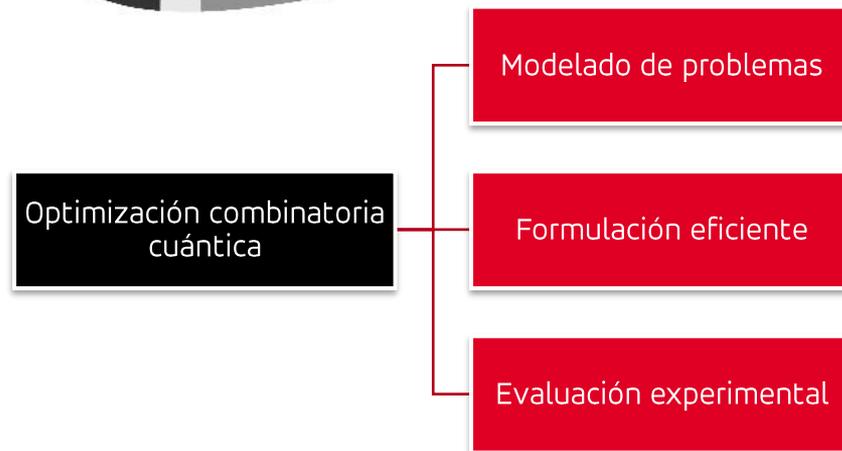
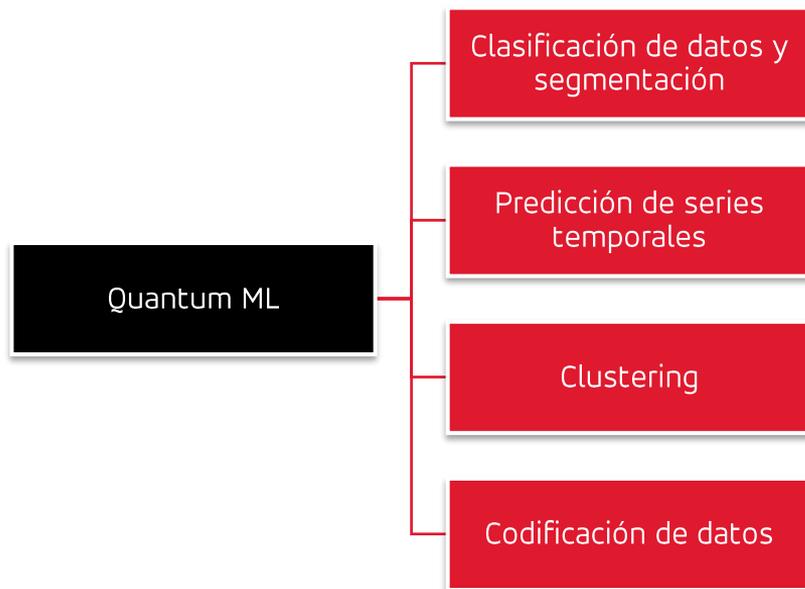
# Computación cuántica en GMV

¿Qué hacemos en GMV orientado a Inteligencia Artificial?



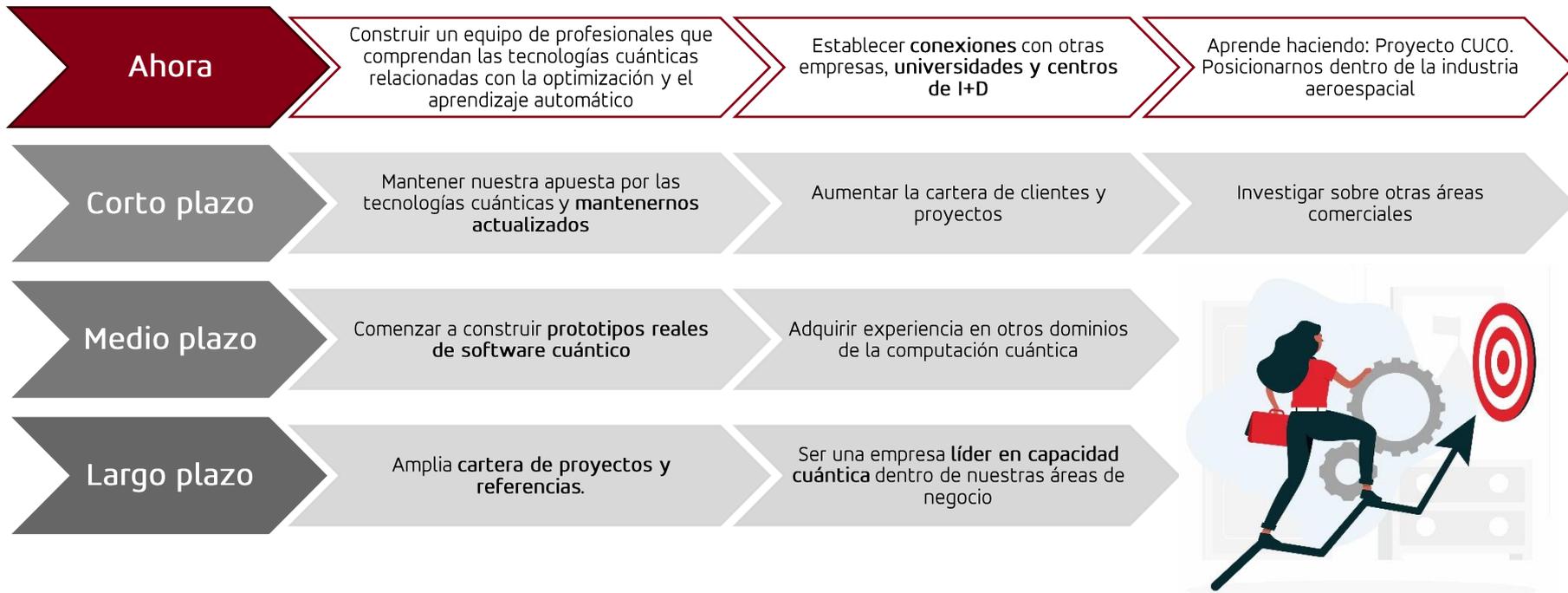
# Computación cuántica en GMV

¿Qué hacemos en GMV orientado a Inteligencia Artificial?



# Computación cuántica en GMV

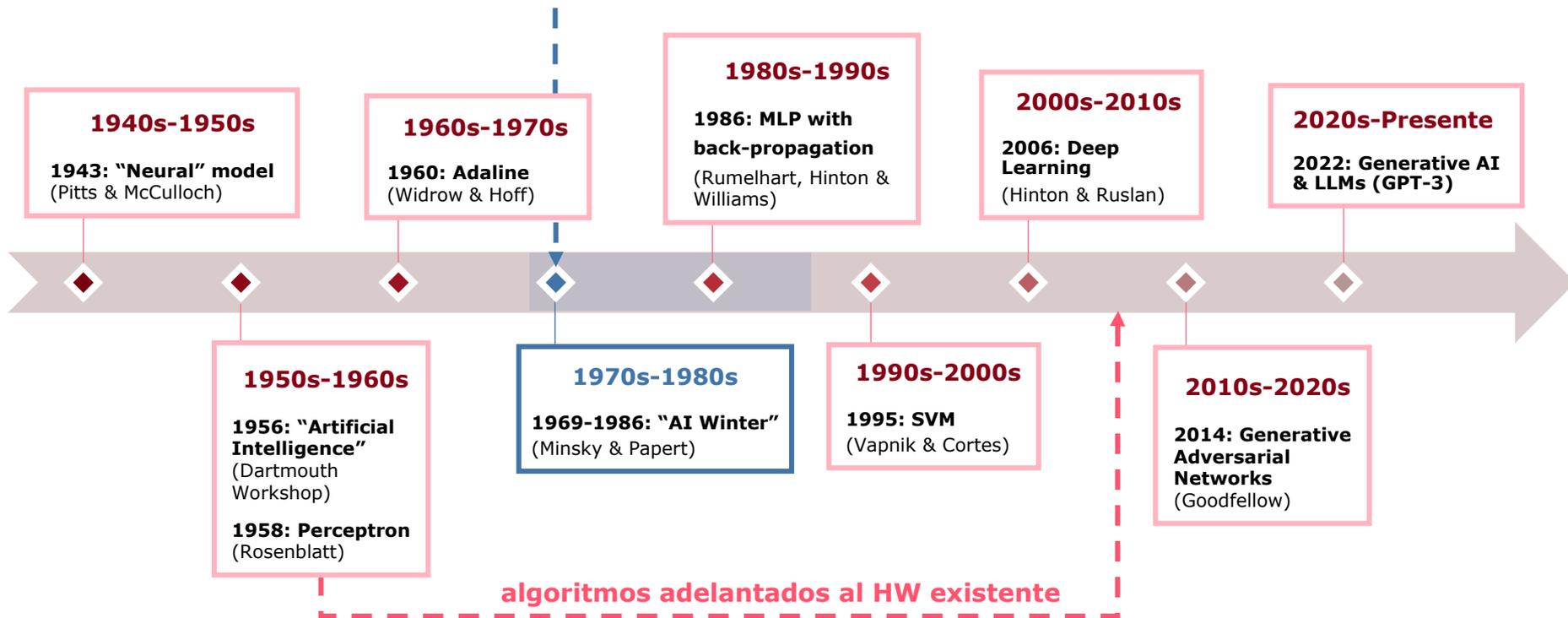
¿Cuál es nuestro Roadmap?



# ¿Cómo emprender el viaje hacia la computación cuántica?

## Machine Learning

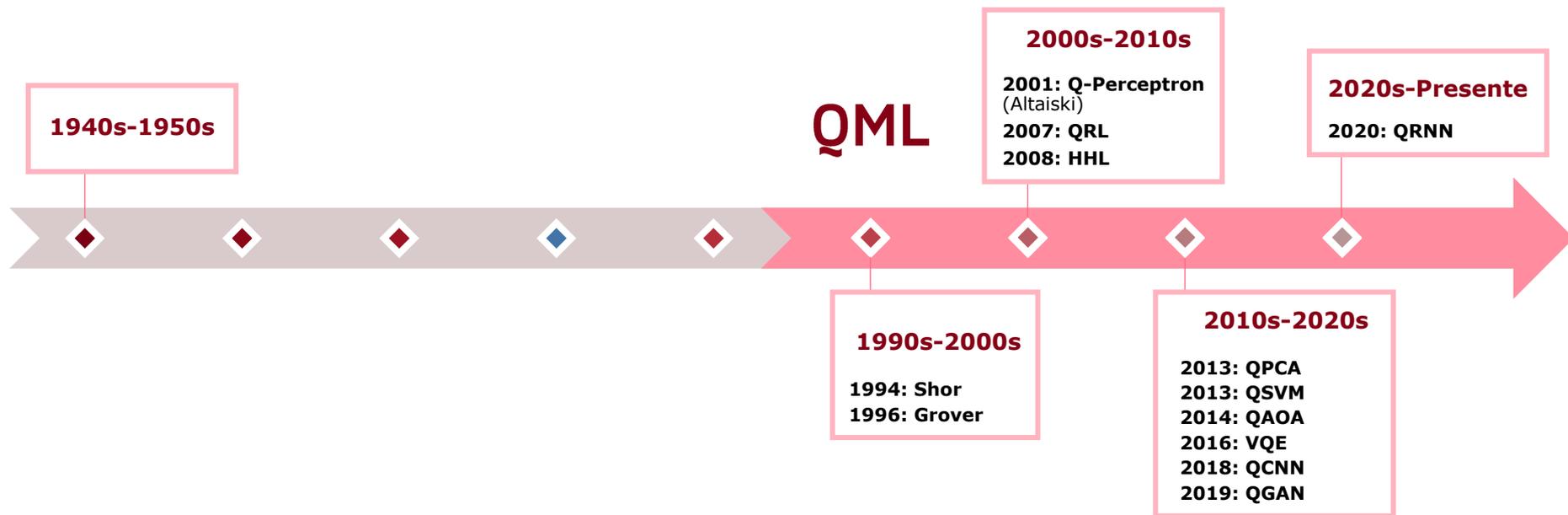
expectativas » resultados → escepticismo → invierno



# ¿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



$\theta_0$	$\theta_1$
$\theta_2$	$\theta_3$

Información	representada por...
Color (B/N, Grayscale, RGB)	Ángulo $\theta_i$
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:

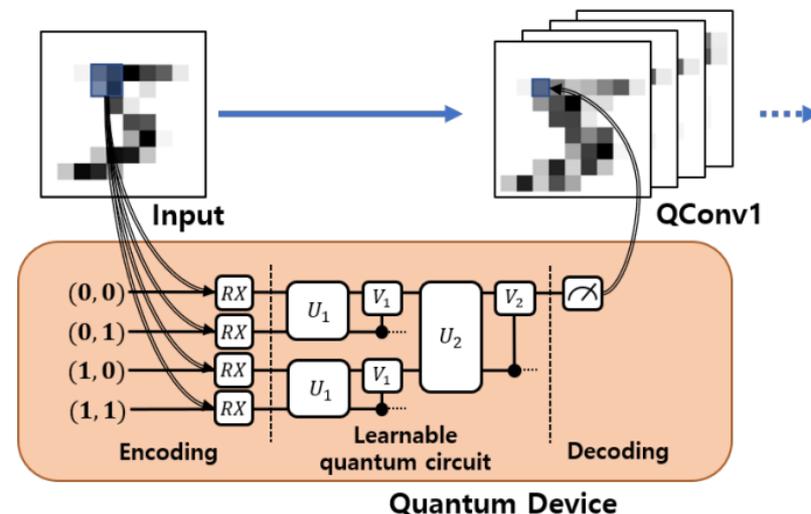
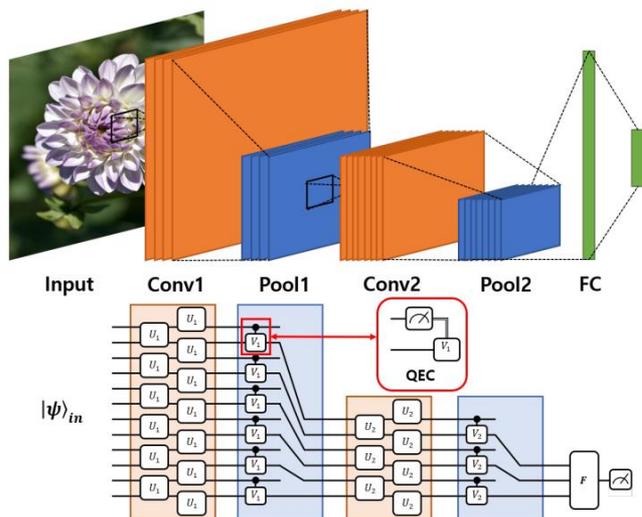
- Reducción de dimensionalidad mediante métodos clásicos (**bottleneck features**)
- Arquitecturas híbridas

# Proyecto CUCO: Casos de uso (1)

## Identificación de paneles fotovoltaicos

### Arquitecturas cuánticas de aprendizaje:

- Quantum Convolutional Neural Network (QCNN)



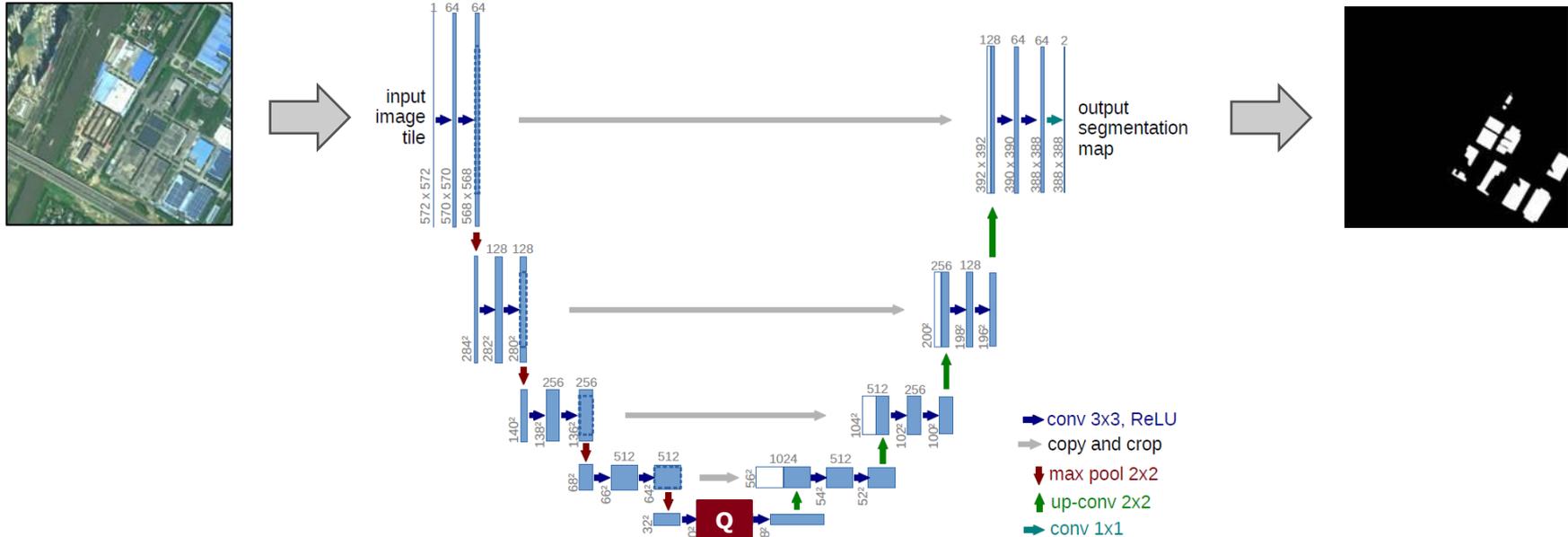
Oh, S., Choi, J., & Kim, J. (2020, October). A tutorial on quantum convolutional neural networks (QCNN). In *2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)* (pp. 236-239). IEEE.

# Proyecto CUCO: Casos de uso (1)

## Identificación de paneles fotovoltaicos

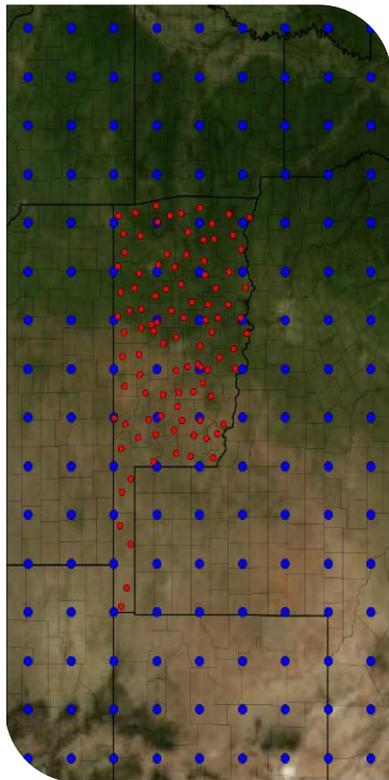
### Enfoques híbridos de arquitecturas de aprendizaje:

- QNN Híbrida: Q-UNet



# Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

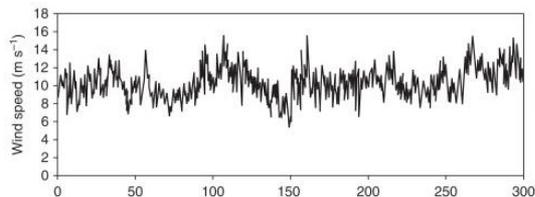
## Ajuste de previsiones meteorológicas en zonas de interés locales



### 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

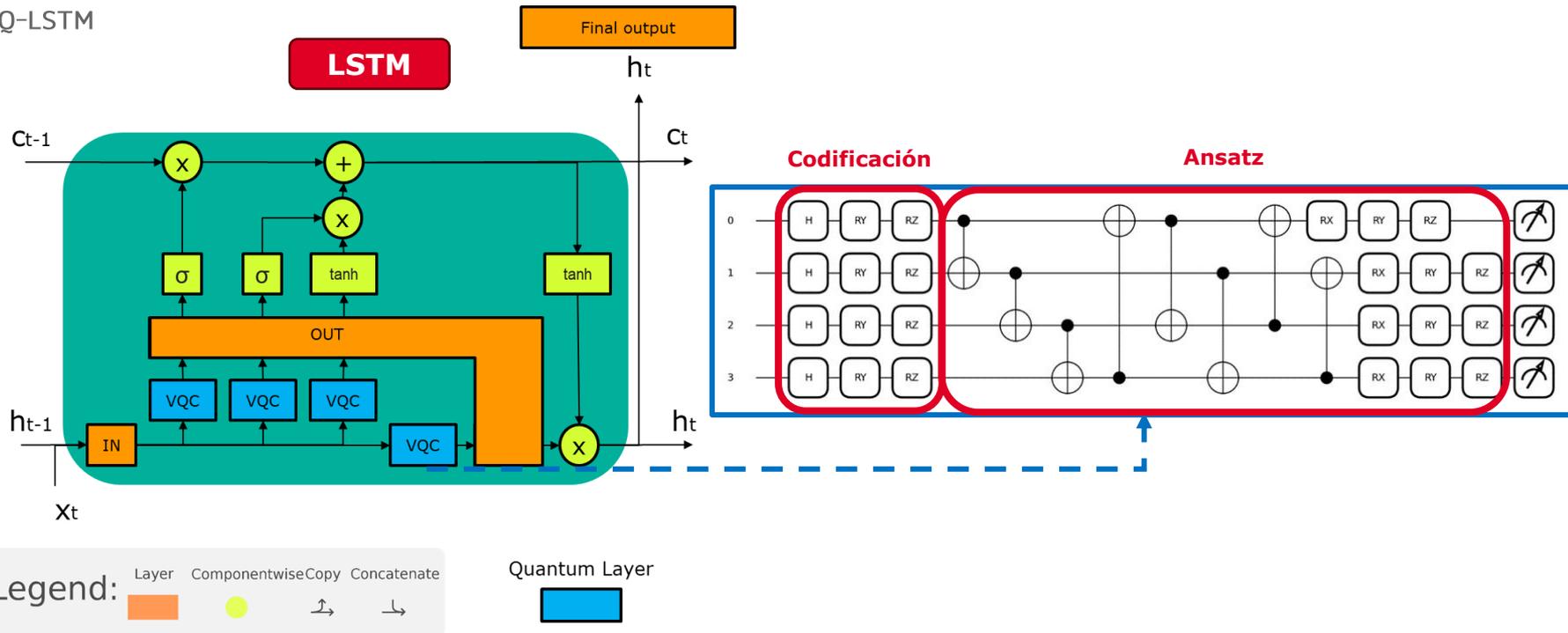
Arquitectura  
cuántica de  
aprendizaje

# Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

Ajustar las previsiones meteorológicas en zonas de interés locales

Enfoques híbridos de arquitecturas de aprendizaje:

- Q-LSTM

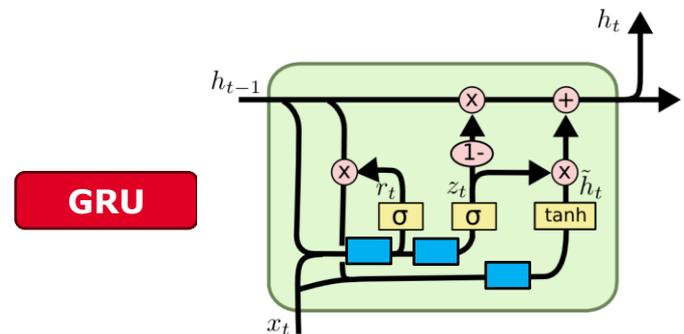
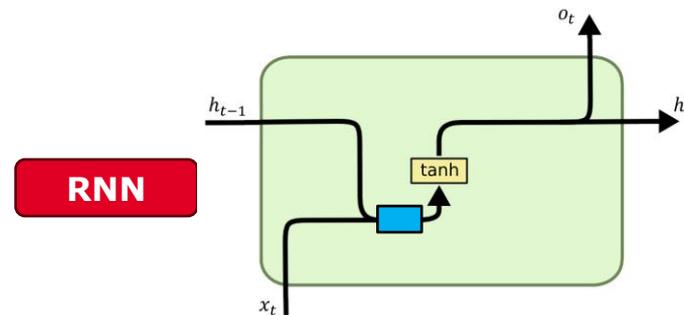
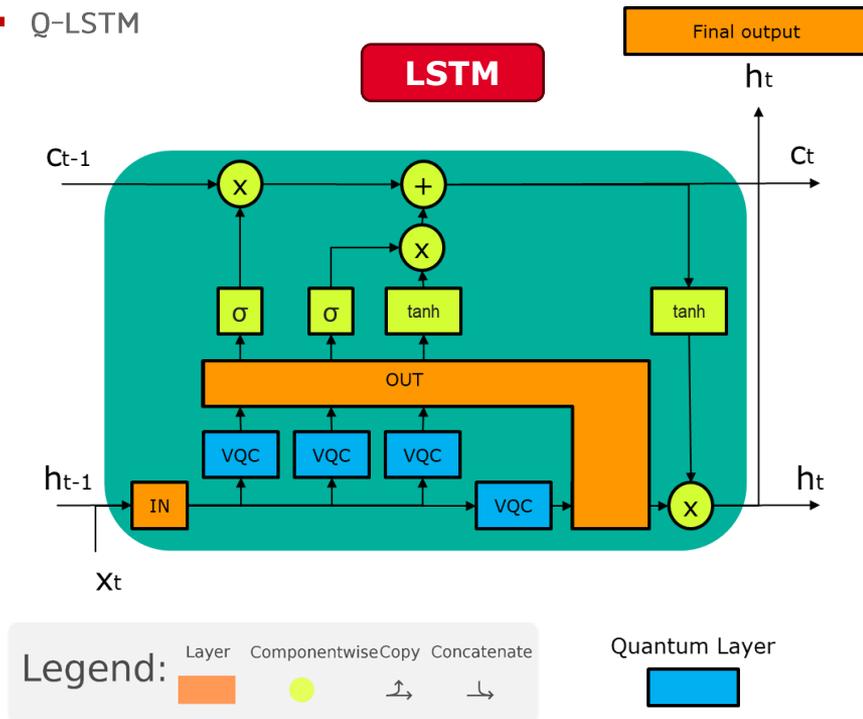


# Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

Ajustar las previsiones meteorológicas en zonas de interés locales

Enfoques híbridos de arquitecturas de aprendizaje:

- Q-LSTM

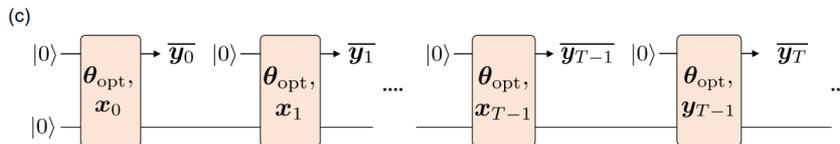
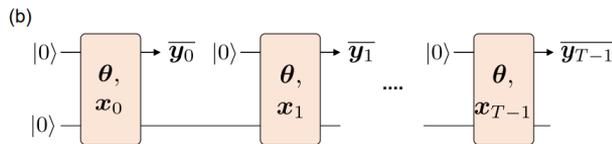
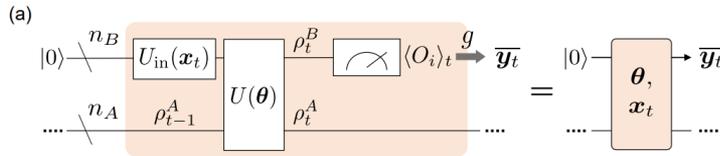


# Proyecto CUCO: Casos de uso (2)

## 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

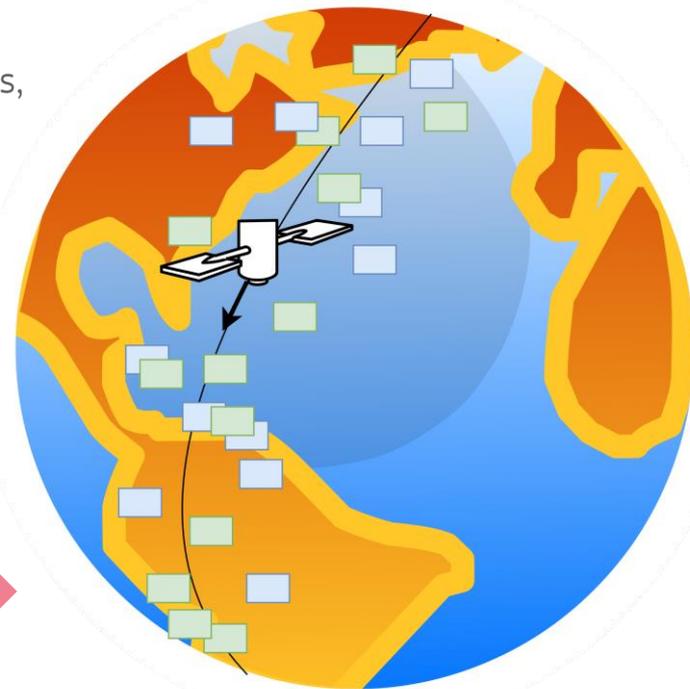
- Dado un satélite con órbita fija y un conjunto de imágenes solicitadas, se busca obtener el subconjunto de imágenes que maximice el valor total de las imágenes, considerando ciertas restricciones (capacidad, tiempos de maniobra, etc.).

### 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

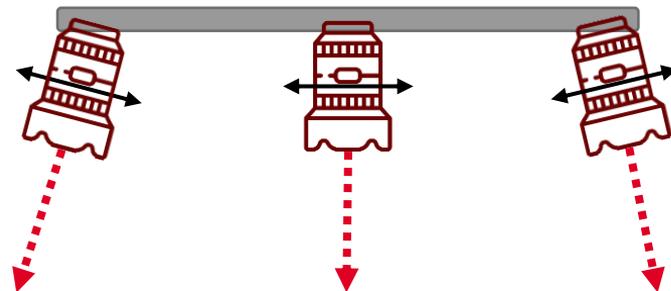
$$\begin{aligned} & \text{máx } c^T x \\ & \text{sujeto a: } Ax \leq b \\ & x \in Z_+^n \end{aligned}$$

$c \in \mathbb{R}^n$  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

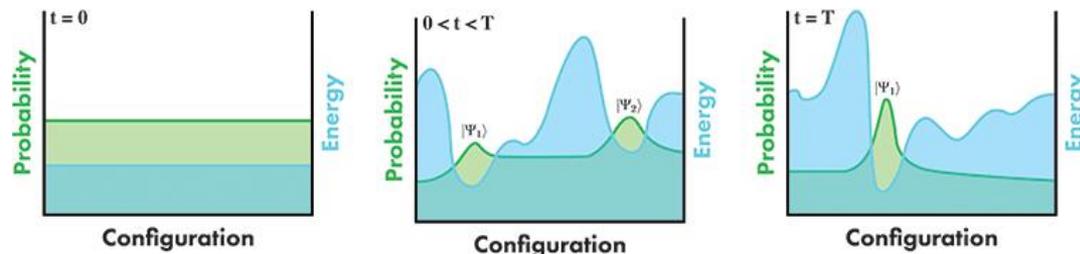
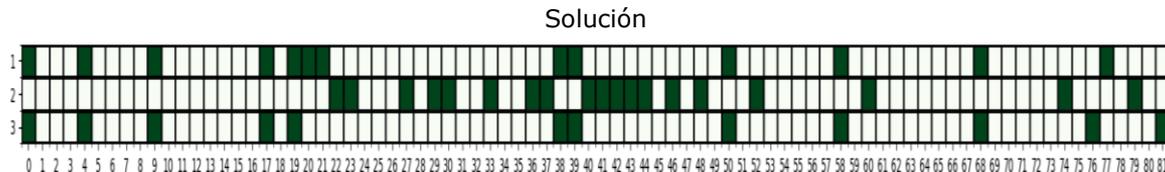


Image source: Grant, E., & Humble, T. Adiabatic Quantum Computing and Quantum Annealing. *Oxford Research Encyclopedia of Physics*.





# 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](mailto:abenitez@gmv.com))

