

## QUANTUMABLE

### Matrices Cuánticas de Puertas Fotónicas Reconfigurables

#### RESUMEN Y OBJETIVOS PRINCIPALES

La fotónica multifuncional programable (*Programmable Multifunctional Photonics*, PMP) busca el diseño de configuraciones hardware basadas en óptica integrada que implementan una gran variedad de aplicaciones y funcionalidades mediante la programación específica de sus componentes. Varios autores han desarrollado trabajos teóricos proponiendo diferentes configuraciones y principios de diseño relativos a circuitos programables, si bien son de carácter específico y no definen una arquitectura completa para un dispositivo fotónico que pueda ser programado para implementar circuitos arbitrarios simples y complejos de manera aislada o simultánea. La investigadora principal de este proyecto, junto con otros investigadores del Photonics Research Labs ([www.prl.upv.es](http://www.prl.upv.es)) de la Universitat Politècnica de València, ha co-inventado y propuesto una arquitectura de dispositivo fotónico novedoso denominado **Matriz Cuántica de Puertas Fotónicas Programables** (Field Programmable Photonic Gate Array, FPPGA)

La FPPGA es un dispositivo compuesto, en primer lugar, por un núcleo programable fotónico formado por un conjunto de unidades sintonizables de procesamiento óptico (Tunable units, TBUs) interconectadas de forma mallada. Cada TBU es capaz de programar/sintonizar/seleccionar el porcentaje de división de potencia óptica entre sus puertos de salida, así como su fase. En segundo lugar, una serie de elementos fotónicos especializados o bloques de altas prestaciones (HPB) rodean a la malla central proporcionando operaciones específicas (generación de luz, detección, amplificación, modulación). Finalmente, el núcleo cuenta con una serie de puertos de entrada/salida ópticos para canalizar las señales entrantes/salientes y una serie de puertos electrónicos para la programación, monitorización y control del dispositivo. La operación de este dispositivo requiere, en consecuencia, del diseño de tres capas interrelacionadas: una capa hardware fotónica, una capa hardware electrónica (monitorización y control) y una capa software (programación, aplicaciones y gestión de recursos hardware). El resultado es un dispositivo con una versatilidad sin precedentes en relación a sus funcionalidades y aplicaciones clásicas, incluyendo la interconexión de alta velocidad, las comunicaciones 5G y la inteligencia artificial.

En paralelo, varios autores han propuesto configuraciones de circuitos integrados de aplicación específica que realizan transformaciones lineales de los modos guiados a la entrada de un mallado de guía ondas con vistas a su aplicación en la implementación de circuitos de computación cuántica. Las arquitecturas propuestas requieren la combinación e interconexión fija de los divisores de potencia y los actuadores de fase limitando, por consiguiente, el rango de operaciones de procesamiento de señales cuánticas, de manera más notoria en la creación de matrices de transformación, describen la operación entre los modos de entrada y salida.

***El objeto del proyecto QUANTUMABLE-1 es expandir el concepto de FPPGA en fotónica de Silicio a una arquitectura que permita el procesamiento flexible de señales cuánticas a través de la programación de las matrices de transformación que describen la operación entre los modos de entrada y salida, la gestión de los qbits de redundancia (ancillas) y la interconexión de HPBs cuánticos. El proyecto contempla:***

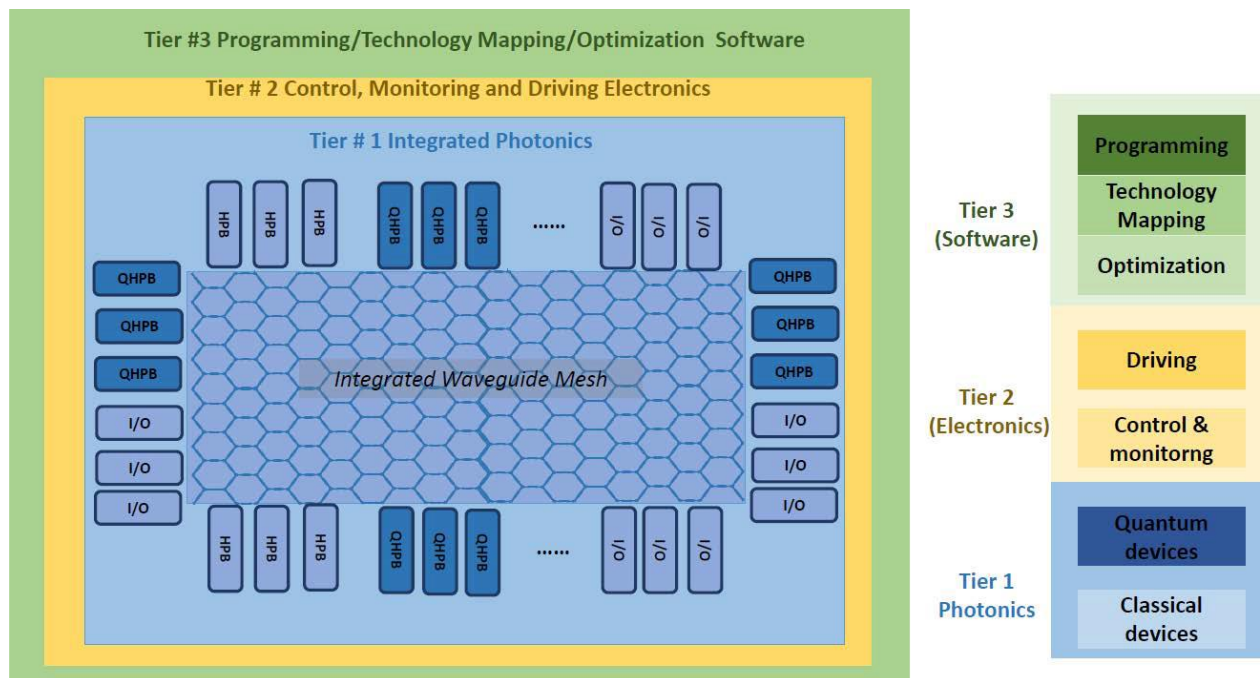
- a) El diseño de arquitectura de mallas en tecnología SOI y SiN.***
- b) Diseño e integración de HPBs específicos (fuentes de fotones y detectores cuánticos).***
- c) Desarrollo de las capas de control y software adaptadas a la operación con señales cuántica.***

***El objeto del proyecto QUANTUMABLE-2 es la fabricación, encapsulado, test y medida de los bloques fotónicos principales necesarios para la implementación de una QFPPGA empleando los resultados obtenidos en el proyecto QUANTUMABLE-1. Este proyecto se contempla como una transición***

*imprescindible a la hora de verificar la viabilidad de los bloques diseñados como paso previo al ensamblaje final de un dispositivo completamente integrado.*

## ACTIVIDADES A REALIZAR

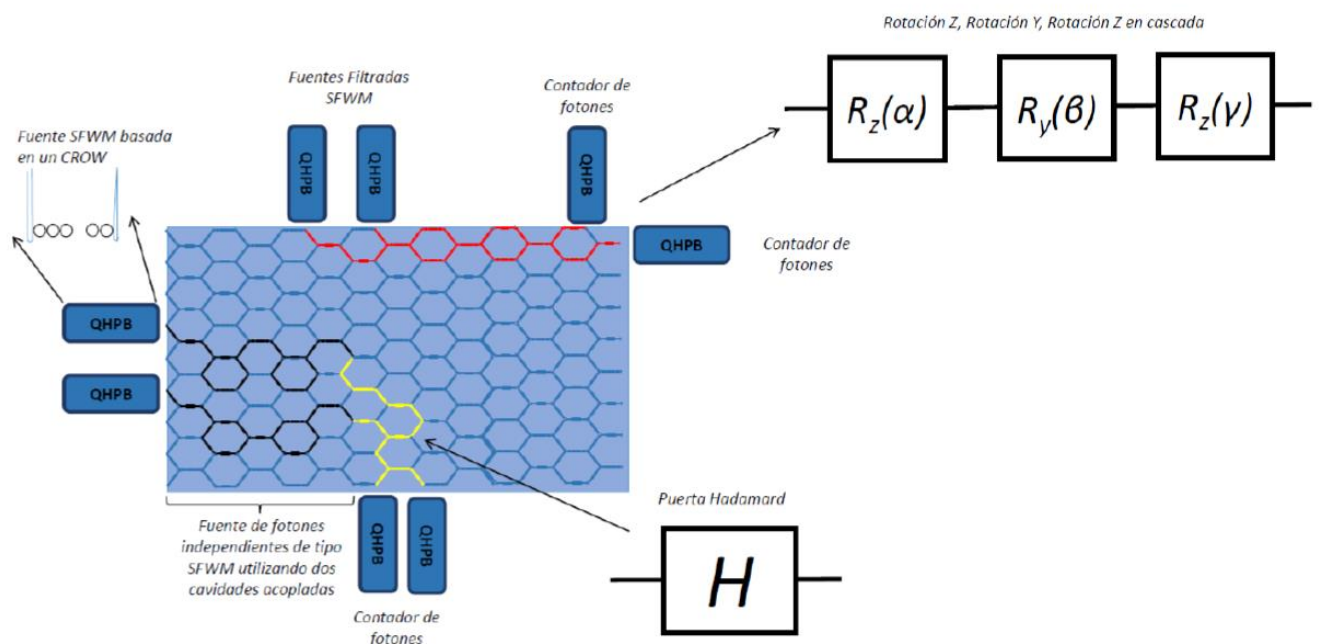
La matriz cuántica de puertas fotónicas programables (Q-FPPGA) que se muestra en la figura es una extensión del concepto clásico, inventado, desarrollado y transferido por el PRL-ITEAM de la Universitat Politècnica de Valencia, pensado para aplicaciones de computación y comunicaciones cuánticas que precisen de la posibilidad de reconfiguración dinámica. En esencia, se trata, como se aprecia en la figura siguiente, de un sistema cuántico basado en un circuito fotónico integrado de mallas de guía ondas hexagonales llevado a cabo mediante la combinación y la interconexión de circuitos de procesamiento fotónicos programables, sobre un circuito fotónico capaz de implementar uno o múltiples circuitos cuánticos y clásicos con elementos de realimentación óptica y/o transformaciones lineales de múltiples puertos, mediante la programación de sus recursos y la selección de sus puertos de entrada y salida.



Arquitectura de capas de una matriz cuántica de puertas fotónicas programable (Q-FPPGA)

1. **Propuesta y diseño de arquitectura de un dispositivo Matriz Cuántica de Puertas Fotónicas Programables (Q-FPPGA)**, comprendiendo el diseño de cada una de las capas relevantes (fotónica, electrónica y software), y su acondicionamiento para su operación con señales y estados cuánticos. El equipo de trabajo partirá de su experiencia en el diseño de FPPGA clásicas para evolucionar la arquitectura de tal forma que pueda operar sobre estados y señales cuánticas. Ello comporta la modificación substancial de su diseño hardware con respecto al procesador clásico. También se ve afectado el diseño electrónico y muy especialmente el software de optimización y control. El paquete de trabajo desarrollará las tres capas de operación de manera separada en tres tareas diferentes, integrándolas en una cuarta tarea. El objetivo final es disponer de un diseño susceptible de fabricación en una fundición externa. Se espera alcanzar un nivel TRL 3 o 4.

2. **Estudio de las aplicaciones de la Q-FPPGA a comunicación y computación cuántica**, así como su implicación en el diseño hardware y software del dispositivo. El equipo de trabajo analizará las posibles aplicaciones de la Q-FPPGA a diversas funcionalidades dentro de las comunicaciones y la computación cuántica, obteniendo las restricciones y condiciones de diseño necesarias para la implementación en término de pérdidas, número de pérdidas, elementos HPB y QHPB necesarios, número de puertos de entrada/salida y número de puertos de verificación (ancillas).
3. **Verificación de la viabilidad de los bloques más importantes de un dispositivo Q-FPPGA** a través de su fabricación test y medida. Así pues, y tomando como punto de partida los resultados correspondientes al diseño de alto nivel de los bloques fundamentales del núcleo fotónico de la Q-FPPGA este paquete de trabajo se encargará de trasladar dichos diseños a máscaras y al envío a fabricación por parte de una fundición (foundry) externa de silicio. Debido a las restricciones presupuestarias se escogerá la opción de menor coste a través de rondas compartidas (Multi Project Wafer, MPW). El paquete de trabajo contemplará también la integración de la electrónica y el software de control necesarios para poder realizar las medidas y caracterización de los dispositivos.
4. **Empaquetado óptico, eléctrico y mecánico de los chips fabricados y su medición** para demostrar su correcto funcionamiento.
5. **Protección de la propiedad intelectual generada por medio de patentes transferibles**, la diseminación de resultados en publicaciones en revistas y congresos y la organización de reuniones y eventos conjuntos con miembros del plan complementario de otras comunidades autónomas.



Implementación de puertas lógicas cuánticas programables sencillas (rotaciones y Hadamard)