

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

MEMORIA JUSTIFICATIVA DE LA NECESIDAD E IDONEIDAD DEL CONTRATO Y EFICIENCIA EN LA CONTRATACIÓN

SUMINISTRO PARA LA ADQUISICIÓN DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN CUÁNTICA DE CLAVE (QKD) PARA EL PROYECTO COMUNICACIÓN CUÁNTICA EN LA COMUNIDAD DE MADRID (MADQUANTUM-CM) DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Este contrato se realiza en el marco de los fines generales encomendados a la Universidad Politécnica de Madrid, que están orientados a la prestación del servicio público fundamental de la educación superior mediante la docencia, el estudio y la investigación. Estas tareas se prestan en las Escuelas, Facultad, Departamentos y Centros e Institutos de Investigación.

Necesidad e idoneidad/ etiquetado verde y digital:

Este contrato se realiza en el marco del Real Decreto 991/2021, de 16 de noviembre, regula la concesión directa de subvenciones a las Comunidades Autónomas para financiar la realización de un programa para implantar un Plan Complementario de I+D+I sobre Comunicación Cuántica, en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Tal y como se indica en la resolución de esta convocatoria, estas ayudas forman parte de la Inversión 01 “Planes complementarios con las Comunidades Autónomas”, del Componente 17 del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, que se centra en la “Reforma institucional y fortalecimiento de las capacidades del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación”.

En los anexos VI y VII del REGLAMENTO (UE) 2021/241 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 12 de febrero de 2021 por el que se establece el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia se definen el Etiquetado verde y etiquetado digital para un adecuado seguimiento de las acciones por el Clima y por la Transición Digital. En el caso de esta convocatoria, Componente 17, Inversión 01, los coeficientes que le corresponden son: etiquetado verde es 0 % y etiquetado digital es 0 %.

En el marco de esta convocatoria la Universidad Politécnica de Madrid ha obtenido una subvención denominada Comunicación cuántica en la Comunidad de Madrid (MADQuantum-CM). El 11 de noviembre de 2022, la Universidad Politécnica de Madrid firmó con la Comunidad de Madrid el Convenio con el que articular la concesión de esta subvención.

Las características técnicas del suministro requerido constan en el correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas, donde se detallan las especificaciones para alcanzar la calidad necesaria.

El objeto del contrato es el suministro de varios dispositivos de distribución cuántica de clave para satisfacer las necesidades de conectividad cuántica en la red infraestructura de comunicaciones cuánticas MadQCI.

En este contexto, la red MadQCI es un instrumento con el que se han vertebrado varios proyectos de investigación y desarrollo desde el 2006 hasta estos momentos, cuando se ha alineado con la visión y misión de las iniciativas Quantum Flagship y EuroQCI. Esta red provee la base de conocimiento, técnica y tecnológica necesaria para el despliegue de la infraestructura estable

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

para comunicaciones cuánticas y basada en fibra óptica que aspira crear el Plan Complementario de Comunicación Cuántica en la Comunidad de Madrid. En la actualidad, la coordina el Grupo de Investigación en Información y Computación Cuántica de la Universidad Politécnica de Madrid.

Los dispositivos de distribución cuántica de clave (QKD en adelante, por las siglas en inglés de *quantum key distribution*) son una tecnología de la información cuántica fundamental en el estado actual de las redes de información cuántica. La investigación, desarrollo e innovación en comunicaciones cuánticas exige el uso de laboratorios, maquetas y despliegues con características análogas a las industriales y comerciales. Esta condición es fundamental para tareas de transferencia de conocimiento al sector productivo como la normalización, la generación de casos de uso verosímiles, etc. Pero, de la misma forma, también existe la exigencia de incorporar componentes y equipos con características modulables y configurables para adaptar su funcionamiento a las tareas de investigación comprometidas.

En MadQCI se ensayan fórmulas avanzadas de gestión integral, de gestión intra-dominio, de gestión de tecnologías heterogéneas, etc., así como una multitud de casos de uso. En consecuencia, se necesita adquirir equipos QKD de diversas tipologías: comerciales y de desarrollo; basados en distintas tecnologías; con transmisiones en distintas bandas; con distintas funcionalidades de gestión de clave criptográfica; etc. Este conjunto de equipos podrá ser instalado en la red en función de las necesidades de cada ensayo concreto. Esto permite una eficiencia mayor de los recursos disponibles, puesto que permite configurar diversos escenarios a lo largo de la red de forma flexible y discrecional. De forma adicional, y para redundar en la eficiencia de los recursos, se busca adquirir equipos de menor coste como, por ejemplo, sistemas nuevos pero rechazados por clientes debido a que su configuración no era la adecuada. Estos equipos podrían tanto integrarse en los ensayos en la red como apoyar las tareas docentes o de demostración.

De acuerdo con lo establecido en el artículo 28 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público (LCSP) se justifica de este modo la necesidad de proceder a la contratación descrita.

JUSTIFICACIÓN DE LA DIVISIÓN POR LOTES:

Para adecuarse a las necesidades expuestas, se articula una licitación con varios lotes.

Desde un punto de vista de producto comercial, en julio de 2023 se hizo un estudio de mercado para articular esta licitación. La QKD es una tecnología aún en experimentación y con un número reducido de formatos y fabricantes, por lo que con ese estudio se representó al mercado de forma lo suficientemente completa. El resultado fue la identificación de tres características que los fabricantes consideran diferenciadores: su aplicación —de uso industrial o de uso para investigación y desarrollo—, el desempeño o «alcance» —típicamente, la tasa de clave generada frente a las pérdidas ópticas; a mejor desempeño, más alcance— y su capacidad de interoperar con otras transmisiones —coexistir con otras señales ópticas en la misma fibra óptica—.

Desde un punto de vista técnico y de la investigación comprometida, además, toman relevancia otros parámetros técnicos. Primero, la banda óptica en la que operan es de especial relevancia, dado que el diseño de las redes ópticas se fundamenta en el uso de esas bandas. En concreto, el paradigma actual se basa en propagar señales en la rejilla de canales DWDM en la banda

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

convencional (banda C), centrada en los 1550 nm. El paradigma usado hace una década se basaba en otra rejilla de canales, la CWDM, que se propagaba por la banda original (banda O) en torno a los 1310 nm. Por ello, las infraestructuras ópticas se diseñan o para la una o para la otra y, en el mejor de los casos, incorporan mecanismos de interoperación de desempeño limitado —por ejemplo, puertos de ampliación o *legacy*—. Segundo, el recurso servido es clave criptográfica y es relevante el tratamiento que se haga de esa clave —entrega de la clave, gestión de la clave, calidad del servicio criptográfico, etc.—. Y, tercero, toma relevancia la técnica de generación y detección de señales cuánticas usada, puesto que, aunque ofrecen un servicio equivalente, tienen requisitos de diseño y operación distintos:

- La técnica de generación y detección denominada «de variables discretas» es la que más se ha desarrollado durante las dos últimas décadas, pero usa componentes más complejos cuyo recorrido técnico en el largo plazo puede estar comprometido —por ejemplo, detección a temperaturas criogénicas—.
- La técnica de generación y detección denominada «de variables continuas» ha surgido de forma posterior con la vocación de reusar las técnicas y tecnologías típicas de la fotónica ya implantada y, por ello, puede tener un recorrido más prometedor en el largo plazo, aunque tenga aún algunas lagunas en su desarrollo —por ejemplo, carece de pruebas de seguridad tan robustas como la de variables discretas—.
- La técnica de generación y detección denominada «de pares entrelazados» es la más rompedora con las tradiciones fotónicas, dado que usa una primitiva cuántica nunca explotada, los pares entrelazados, y es en la que se basan los paradigmas más visionarios del sector como el denominado «internet cuántico».

Por último, es preciso distinguir del resto de suministros los equipos de coste menor, dado que la necesidad e idoneidad de adquirirlos no responde íntegramente a su configuración técnicas. El proyecto no tiene por objetivo únicamente equipar los enlaces de MadQCI para realizar los ensayos comprometidos, sino también contar con recursos dedicados a la docencia y la demostración (líneas 6 y 7) y a nuevos desarrollos técnicos (líneas 3 y 4). Estos equipos también permitirán articular acciones en esas líneas. Todos los lotes contarán, además, con criterios de selección orientados en este mismo sentido.

Al combinar esta información con los requisitos de diseño de MadQCI y de los ensayos que se necesitan hacer, se han identificado 12 tipologías necesarias e idóneas para cumplir con las tareas comprometidas:

- Tipo 1: Sistemas QKD de aplicación industrial en banda O.
Necesario para hacer ensayos de gestión de red integral en redes cuánticas en producción con tráfico preexistente en banda C.
- Tipo 2: Sistemas QKD de aplicación industrial en banda C con requisitos de coexistencia.
Necesario para hacer ensayos de coexistencia entre canales cuánticos y clásicos.
- Tipo 3: Sistemas QKD de aplicación industrial con requisitos de muy larga distancia.
Necesario para hacer ensayos de distribución cuántica de clave en enlaces de pérdidas muy altas.
- Tipo 4: Sistemas QKD de aplicación I+D configurables como tecnología de criptografía cuántica en banda O.
Necesario para hacer ensayos de criptografía cuántica aplicada: protocolos cuánticos, amplificación de privacidad, etc.
- Tipo 5: Sistemas QKD de aplicación I+D configurables como tecnología de información cuántica en banda C.

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

- Necesario hacer ensayos de transmisión de información cuántica codificada en fotones.
- Tipo 6: Sistemas QKD de aplicación I+D configurables como tecnología en red de criptografía cuántica en banda O.
Necesario para hacer ensayos de gestión de clave en redes de criptografía cuántica con tráfico preexistente en banda C.
- Tipo 7: Sistemas QKD de aplicación I+D configurables como tecnología en red cuántica en banda C.
Necesario para hacer ensayos de gestión de red integral en redes cuánticas con sistemas de gestión clásicos.
- Tipo 8: Sistemas QKD de aplicación I+D configurables ante muchas pérdidas ópticas.
Necesario para ensayar criptografía cuántica en escenarios de pérdidas ópticas muy altas, como atravesando elementos de red ópticos instalados en redes en producción.
- Tipo 9: Sistemas QKD de variable continua configurables en redes pasivas.
Necesario para hacer ensayos específicos de esta técnica en redes pasivas, como redes de acceso o empresariales.
- Tipo 10: Sistemas QKD de variable continua configurables en redes troncales.
Necesario para hacer ensayos específicos de esta técnica en redes con elementos ópticos reconfigurables, como redes troncales o de tránsito.
- Tipo 11: Sistemas QKD basados en distribución de entrelazamiento.
Necesario para hacer ensayos específicos de esta técnica, provista de un emisor común de pares entrelazados que debe ser integrado en la red.
- Tipo 12: Sistemas QKD de coste menor.
Necesario para complementar otras tareas relativas a todas las líneas del proyecto.

Por último, y como ya se ha indicado, la QKD es una tecnología cuántica que posee un número reducido de fabricantes, los cuales están invirtiendo una gran cantidad de recursos en crear e innovar producto muy novedosos. Una mayoría de esos fabricantes son empresas de base tecnológica pioneras o surgidas de universidades o centros de I+D. Y, para poder competir, apuestan por productos especializados que exploten su propiedad industrial e intelectual y que reflejen su propia visión de las tecnologías cuánticas. En consecuencia, un único proveedor, por lo general, no posee sistemas QKD idóneos en varios de esos tipos. Proponer lotes que agreguen varios sistemas QKD de varios tipos sólo favorecería aquellos fabricantes que apuestan por productos poco especializados y sin trazas de creación científica e innovadora. En primer lugar, estos sistemas no son los idóneos porque no se necesitan para los ensayos comprometidos en el proyecto. Y, en segundo lugar, claramente limitaría la concurrencia de esas otras empresas más innovadoras y que son mayoría.

En consecuencia, para satisfacer la necesidad de contar con un conjunto variado de sistemas QKD, este expediente propone la licitación de lotes conforme a estas tipologías.

Procedimiento de adjudicación:

La propuesta de tramitación del Expediente a través de un **procedimiento abierto**, tal y como se requiere por el artículo 116.4 de la LCSP, queda justificada en tanto que no existen motivos para plantear un procedimiento restrictivo en lo referido a la concurrencia de ofertas

En definitiva, a través del procedimiento abierto se cumplimenta lo dispuesto en el artículo 131.2 de la LCSP con la utilización de un procedimiento calificado como ordinario, al tiempo de promover la máxima concurrencia en beneficio de los intereses de la Universidad; tampoco

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

existen motivos que llevarían a justificar un procedimiento restringido a fin de realizar una selección previa de las empresas más capaces.

Precio de licitación:

El presupuesto Base de Licitación es DOS MILLONES QUINIENTOS NOVENTA Y CUATRO MIL DOSCIENTOS NUEVE EUROS (2.594.209 €) que, con una estimación del IVA del 21% que sería QUINIENTOS CUARENTA Y CUATRO MIL SETECIENTOS OCHENTA Y TRES EUROS CON OCHENTA Y NUEVE CÉNTIMOS (544.783,89 €), asciende a TRES MILLONES CIENTO TREINTA Y OCHO MIL NOVECIENTOS NOVENTA Y DOS EUROS CON OCHENTA Y NUEVE CÉNTIMOS (3.138.992,89 €).

Para llegar a dicha conclusión económica se han tenido en cuenta los actuales precios de mercado en suministros de esta naturaleza.

En el caso de los equipos QKD, los precios se han estimado con el estudio de mercado que se hizo en julio de 2023. La tabla de precios por unidad de suministro, sin impuestos, es la siguiente:

Tipología	Precio estimado IVA excluido
Tipo 1: QKD industrial banda O	209.160 €
Tipo 2: QKD industrial banda C con coexistencia	209.160 €
Tipo 3: QKD industrial de muy larga distancia	218.400 €
Tipo 4: QKD I+D configurable como tecnología de criptografía cuántica banda O	208.950 €
Tipo 5: QKD I+D configurable como tecnología de información cuántica banda C	208.950 €
Tipo 6: QKD I+D configurable como tecnología en red de criptografía cuántica banda O	208.950 €
Tipo 7: QKD I+D configurable como tecnología en red cuántica banda C	208.950 €
Tipo 8: QKD I+D configurable ante muchas pérdidas ópticas	224.700 €
Tipo 9: QKD de variables continuas configurables en redes pasivas	178.000 €
Tipo 10: QKD de variables continuas configurables en redes troncales	178.000 €
Tipo 11: QKD basados en distribución de entrelazamiento	267.750 €
Tipo 12: QKD de coste menor —descartados, configurados pero rechazados, etc.; estimado como un 30 % de la media del resto—.	64.289 €

A todos los efectos, se estima que los precios obtenidos en la petición de información eran llave en mano —instalación, puesta en marcha y formación básica— e incluían los costes indirectos (valorados en un 13%) y el beneficio industrial (valorados en un 6%).

En función de los requisitos técnicos de los enlaces y de los ensayos planificados, se ha determinado el número de equipos de cada tipología que es necesario comprar. En la siguiente tabla, se incluye el presupuesto de cada lote.

Lote y descripción	Precio IVA excluido
Lote 1: QKD industrial banda O (1 ud.)	209.160 €
Lote 2: QKD industrial banda C con coexistencia (1 ud.)	209.160 €

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

Lote 3: QKD industrial de muy larga distancia (1 ud.)	218.400 €
Lote 4: QKD I+D configurable como tecnología de criptografía cuántica banda O (1 ud.)	208.950 €
Lote 5: QKD I+D configurable como tecnología de información cuántica banda C (1 ud.)	208.950 €
Lote 6: QKD I+D configurable como tecnología en red de criptografía cuántica banda O (1 ud.)	208.950 €
Lote 7: QKD I+D configurable como tecnología en red cuántica banda C (2 ud.)	417.900 €
Lote 8: QKD I+D configurable ante muchas pérdidas ópticas (1 ud.)	224.700 €
Lote 9: QKD de variables continuas configurable en redes pasivas (1 ud.)	178.000 €
Lote 10: QKD de variables continuas configurable en redes troncales (1 ud.)	178.000 €
Lote 11: Un QKD basado en distribución de entrelazamiento (1 ud.)	267.750 €
Lote 12: QKD de coste menor —descartados, configurados pero rechazados, etc.; estimado como un 30 % de la media del resto— (1 ud.)	64.289 €

Plazo de ejecución:

- El plazo de ejecución del contrato será de 6 meses; y considerando las características del suministro, no se considerará la posibilidad de prórroga.

Proyecto de Investigación:

El importe del contrato será imputado a la aplicación presupuestaria 620.01 del vigente presupuesto de gasto. El importe del contrato será imputado al Proyecto con código OTT M220021267PRTR: Comunicación cuántica en la Comunidad de Madrid (MADQuantum-CM), cuyo Investigador Principal (IP) es Vicente Martín Ayuso.

Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia:

- Componente 17: Reforma institucional y fortalecimiento de las capacidades del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.
- Inversión 01: Planes complementarios con las Comunidades Autónomas.

Financiación UE: Sí

Fuente de financiación europea: PRTR. Asociado al Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.

Programas UE-Localizador: La Comunidad de Madrid, el Estado a través del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia y la Unión Europea a través de los fondos NextGeneration EU. Componente 17: Inversión 01.

Gasto cofinanciado:

ENTIDAD	AÑO	PARTIDA	IMPORTE
Unión Europea	2024	PRTR	3.138.992,89 €

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

Proyecto MADQuantum-CM, financiado por la Comunidad de Madrid y por el Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea – NextGenerationEU

SUMINISTRO-PROCEDIMIENTO ABIERTO

En Madrid, a la fecha de la firma electrónica.

El Investigador Principal (IP)

Firma: Vicente Martín Ayuso.