

# INFORME DE CONCLUSIONES DE LA CONSULTA PRELIMINAR DEL MERCADO EN EL ÁMBITO DE DETECTORES DE SPADs AVANZADOS PARA LA OBSERVACIÓN ASTRONÓMICA

## 1.-Introducción

El Centro para el Desarrollo Tecnológico y la Innovación E.P.E. (en adelante, CDTI), entidad pública empresarial adscrita al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, convocó en fecha 21 de marzo de 2025 una Consulta Preliminar del Mercado (CPM) para conocer el grado de desarrollo de la tecnología en el ámbito de detectores SPADs para observación astronómica.

El objetivo de esta iniciativa es avanzar en la tecnología SPAD con el objetivo de abrir nuevos horizontes en la astronomía, de tal manera que se pueda observar y estudiar, con una resolución temporal sin precedentes, en el rango de los picosegundos, eventos ultrarrápidos y fenómenos transitorios, tales como discos de acreción de agujeros negros, púlsares, kilonovas y ráfagas rápidas de radio (FRBs, por sus siglas en inglés), así como permitir la implementación de la técnica de interferometría de intensidad utilizando varios telescopios ópticos separados entre sí hasta 1 km, para alcanzar resoluciones espaciales en el rango de los microsegundos de arco.

Avanzar en la comprensión de los fenómenos descritos, requiere de un detector SPAD avanzado desarrollado específicamente para su aplicación en astronomía, con las siguientes características:

- Gran formato ( $> 2000 \times 2000$  píxeles; 1 píxel = 20 micras), lo que implica una gran área por chip.
- Tecnología apilada en 3D para alcanzar un factor de llenado de cada píxel cercano al 100% (superior al 95%) sin uso de microlentes. El factor de llenado es el porcentaje del área total del píxel que es sensible a la luz.
  - Utilización de técnicas de *Backside Illumination* (BSI)
  - Integración vertical a nivel de obleas:
    - sensores y
    - circuitería de control y lectura de los SPADs

- Alta eficiencia de detección de fotones en un amplio rango espectral en el rango visible: 30% a 350 nm, 80% a 550 nm, 30% a 900 nm.
- Resolución temporal inferior a 30 picosegundos.
- Tasas mínimas de corriente de oscuridad<sup>1</sup>

Además, para mejorar la resolución temporal y permitir realizar interferometría de intensidad en el visible con varios telescopios, serían necesarias dos funcionalidades específicas:

- Decimación de datos<sup>2</sup> y
- Asignación de una marca de tiempo a cada píxel.

Para ello, se persigue la adquisición de servicios de I+D que confluyan en la concepción, el diseño, instalación, testeo y validación en entorno real del concepto tecnológico innovador para la observación astronómica.

## **2.- Marco jurídico**

La Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública recoge formalmente en su artículo 40, por primera vez, las Consultas Preliminares del Mercado, dentro de la sección relativa a la fase de preparación del contrato. La ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público (LCSP), regula en su artículo 115 las Consultas Preliminares del Mercado. Pese a que las licitaciones de contratación precomercial están excluidas de la Ley 9/2017 de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público en virtud de su artículo 8, la realización de Consultas Preliminares del Mercado en las fases preparatorias del contrato se considera una buena práctica y son altamente recomendables. Esta herramienta de retroalimentación informativa entre las autoridades contratantes y el mercado forma parte del expediente de contratación, debe cumplir con los principios básicos inspiradores de la Directiva 2014/24/UE y la Ley 9/2017 y no es vinculante para ninguna de las partes. Por este motivo, con fecha 21 de marzo de 2025, se publicó tanto en la Plataforma de Contratación del Sector Público (PLACSP) como en la página web de CDTI, la Resolución del Director General de CDTI para la Convocatoria de la Consulta Preliminar del Mercado para conocer el

---

<sup>1</sup> Los diodos de avalancha pueden tener corrientes oscuras más altas en comparación con los fotodiodos convencionales, lo que puede afectar a la detección de señales débiles en condiciones de poca luz.

<sup>2</sup> Proceso consistente en disminuir la frecuencia de muestreo de una señal

grado de desarrollo de la tecnología en el ámbito de Detectores SPADs para observación astronómica.

Como resultado del proceso de Consulta Preliminar del Mercado, se ha elaborado este Informe final de Conclusiones para la preparación de la potencial licitación de Compra Pública Precomercial para resolver el reto del desarrollo de tecnología en el ámbito de Detectores SPADs para observación astronómica.

Se expone a continuación el desarrollo del proceso y sus conclusiones.

### **3.- Fases de la CPM**

La CPM para la preparación de la licitación constó de las siguientes fases:

1. Publicación de la resolución de la convocatoria de la CPM en la Plataforma de Contratación del Sector Público y en la página web de CDTI con fecha 21/03/2025.
2. Difusión de la apertura de la CPM en la web del CDTI ([www.cdti.es](http://www.cdti.es)), y difusión en RRSS a través de la cuenta oficial de CDTI oficial (Twitter, LinkedIn).
3. Jornada on-line de presentación de la "Consulta Preliminar de Mercado para conocer el grado de desarrollo de los detectores SPADs avanzados para la observación astronómica" y su correspondiente difusión en RRSS a través de la cuenta oficial de CDTI (Twitter, LinkedIn) y de sus Listas de Distribución. La jornada se celebró el 28 de marzo de 2025. Se presentó el reto tecnológico, así como las características y tiempos del procedimiento. Toda la información de la jornada, incluyendo las presentaciones y el video están disponibles en la web del CDTI.
4. Jornada técnica para conocer las condiciones donde se validaría la solución tecnológica que pudiera ser adquirida (La Palma, 7 de abril de 2025). La agenda y presentación técnica de la jornada están disponibles en la página web del CDTI.
5. Finalización del plazo de recepción de las propuestas de las entidades (21/04/2025).
6. Análisis de las propuestas y aclaración de las soluciones presentadas (incluye realización de reuniones bilaterales con las entidades que han presentado las soluciones). Esta tarea comenzó el mismo 21/04/2025 y finalizó el 24/06/2025.
7. Vigilancia tecnológica [abril 2024-julio 2025]
8. Consulta por parte de la OCPI a la Dirección de Tecnología e Internacionalización del CDTI sobre el grado de innovación de las tecnologías que potencialmente podría desarrollar el mercado. La consulta se realizó el 04/07/2025 y se obtuvo respuesta a la misma el 15/07/2025.

## 9. Conclusiones obtenidas para la redacción de la potencial licitación de CPP.

Durante el período de recepción y análisis de las solicitudes, se recibieron preguntas por parte de las entidades interesadas, las cuales fueron resueltas por parte del Grupo Técnico de Trabajo encargado de la gestión de esta CPM. A consecuencia de ello y teniendo en cuenta aquellas cuestiones consideradas de interés general, se fue actualizando y completando el documento de preguntas frecuentes (FAQs) que fue publicado al inicio de la CPM en la web [https://www.cdti.es/FAQs%20DETECTORES%20SPADs\\_v6%2021\\_04\\_25](https://www.cdti.es/FAQs%20DETECTORES%20SPADs_v6%2021_04_25)

## **4.-Acciones de divulgación**

El objetivo principal de la CPM es obtener de los operadores económicos la mayor cantidad de información que ayude a decidir sobre la viabilidad del proyecto, en términos de viabilidad técnica y económica; en caso afirmativo, la documentación aportada en cada una de las propuestas ayudará a definir las principales características de la licitación.

La divulgación de la CPM, por lo tanto, debe ser lo más amplia posible, dando la oportunidad a todos los operadores económicos interesados en aportar sus soluciones.

Entre las principales actividades de difusión realizadas se encuentran:

1. Publicación de la resolución de convocatoria de la CPM en la Plataforma de Contratación del Sector Público y en la página web de CDTI
2. Difusión de la apertura de la CPM en la web del CDTI ([www.cdti.es](http://www.cdti.es)), y difusión en RRSS a través de la cuenta oficial de CDTI oficial (Twitter, LinkedIn).
3. Difusión de la apertura de la CPM a través de las Listas de Distribución de CDTI.
4. Jornada on-line de presentación de la "Consulta Preliminar de Mercado para conocer el grado de desarrollo de detectores SPADs avanzados para la observación astronómica" y su correspondiente difusión en RRSS a través de la cuenta oficial de CDTI oficial (Twitter, LinkedIn) y Lista de distribución.
5. Actualización de las FAQs<sup>3</sup> en la web del CDTI.
6. Jornada técnica La Palma, y su correspondiente difusión en RRSS a través de la cuenta oficial de CDTI oficial (Twitter, LinkedIn) y Lista de distribución.

---

<sup>3</sup> Se incluyen en este documento todas las consultas realizadas desde la publicación de la CPM hasta la publicación del Informe Conclusiones.

## 5.- Participación y desarrollo del periodo de consulta

Se indican a continuación las empresas que han participado en la Consulta Preliminar del Mercado a través del envío de propuestas de solución innovadoras. El objetivo es, por un lado, ofrecer una mayor visibilidad a las empresas que han participado en la etapa de consultas al mercado; y por otro, incrementar su cooperación facilitando posibles asociaciones entre ellas al dar a conocer las actuaciones que proponen, para dar respuesta a las necesidades planteadas.

En el plazo concedido para la presentación de propuestas han cumplimentado el formulario incluido como Anexo II en la publicación de la CPM los siguientes participantes:

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL	NÚMERO DE PROPUESTAS PRESENTADAS
Teledyne Innovaciones Microelectrónicas SL	1
HAMAMATSU PHOTONICS FRANCE SUCURSAL EN ESPAÑA	1
Instituto de Microelectrónica de Barcelona, IMB-CNM-CSIC IMASENIC Advanced Imaging SL Institut de Física d'Altes Energies (IFAE)	1
Total	3

## 6.- Grado de interés y pertinencia de las soluciones presentadas

Atendiendo a los criterios de clasificación<sup>4</sup> establecida habitualmente para las propuestas, las recibidas inicialmente en el RETO DETECTORES SPADs fueron clasificadas como "interesantes, pero no pertinentes" -debido a que no existe la clasificación de "parcialmente pertinente"- al no responder, a priori, a todos y cada uno de los requerimientos de la solución demandada en el Anexo I de la CPM.

Se presenta a continuación una tabla que indica la clasificación del conjunto de las propuestas:

<sup>4</sup> -Interesante y pertinente: si la propuesta es técnicamente relevante y responde al reto planteado en la CPM.

-Interesante pero no pertinente: si la propuesta es técnicamente relevante pero no responde al reto planteado en la CPM.

-Sin interés: si la propuesta carece de interés técnico y, por tanto, no responde al reto planteado en la CPM.

Clasificación	Número de propuestas
Interesante y pertinente	0
Interesante pero no pertinente	3
Sin interés	0

Como se ha indicado, ninguna de las soluciones propuestas parecía ofrecer una solución al problema expuesto en el Anexo I de la CPM, sin embargo, el avance tecnológico inherente a las citadas propuestas era más que notable y los argumentos expuestos muy sólidos. Por ello, el GTT consideró conveniente y necesario ahondar en aquellos aspectos en los cuales el estado de la técnica no alcanzaba a dar respuesta al reto planteado.

Así con fecha 06/05/2025 se solicitó a los representantes de todas las empresas proponentes la presentación de documentación aclaratoria.

Se analizó la nueva documentación, y se mantuvieron reuniones bilaterales de carácter científico-técnico con los representantes de todas las entidades proponentes, realizándose la última de estas reuniones con fecha 24/06/2025. Tras estas reuniones, se solicitó nuevamente a los representantes de las empresas la aportación de información/documentación adicional.

El objeto tanto de las reuniones bilaterales como de la solicitud de información/documentación adicional era esclarecer los límites de las tecnologías para el desarrollo de la solución tal y como se había especificado en el Anexo I de la Resolución de la CPM.

El contenido de los siguientes apartados es un resumen de:

- la información recogida en el Anexo II de la Resolución de Convocatoria,
- la información extraída de las distintas reuniones bilaterales,
- la información/documentación adicional y complementaria al citado Anexo II, y
- la vigilancia tecnológica realizada de manera paralela a las consultas.

## **7.-Resultados técnicos obtenidos en la CPM.**

### **7.1.- Reestructuración de los participantes.**

Para poder dar respuesta al reto planteado con las mejores tecnologías disponibles, así como debido a limitaciones administrativas en un futuro posible pliego, en la documentación adicional presentada por los participantes, en dos

de las tres propuestas, la agrupación se reestructura para un adecuado abordaje del reto.

Las entidades interesadas en dar respuesta al Reto son las siguientes:

NOMBRE O RAZÓN SOCIAL	NÚMERO DE PROPUESTAS PRESENTADAS
Teledyne Innovaciones Microelectrónicas SL	1
HAMAMATSU PHOTONICS FRANCE SUCURSAL EN ESPAÑA UNIVERSIDAD DE BARCELONA	1
IMASENIC Advanced Imaging SL Institut de Física d'Altes Energies (IFAE)	1
Total	3

## 7.2.- Límite de las tecnologías para una solución disruptiva

A continuación, se resume la capacidad tecnológica del mercado en los próximos 3 años para el desarrollo de un detector de SPADs para observación astronómica, frente a lo demandado en el Anexo I de la CPM:

- Utilización de tecnología 3D-Stacked Backside Illumination (BSI).** Bien sea por tecnología SPAD propia, o bien a través de una subcontratación, todos los participantes de la CPM tendrían acceso al uso de tecnología 3D-stacked BSI.
- Factor de llenado (Fill Factor) superior al 95% sin uso de microlentes.**
  - Con la tecnología potencialmente disponible se podría alcanzar un factor de llenado superior al 80% sin necesidad de microlentes.
  - En caso de que el Factor de Llenado resultase inferior al 95% se tendría que fabricar un *array* de microlentes monolítico que se ensamblaría, junto con el detector, en la Cámara<sup>5</sup> SPAD compacta necesaria para la verificación del detector en el telescopio.

<sup>5</sup> La cámara compacta es necesaria para la verificación de la técnica de interferometría de intensidad en el visible. Dicha cámara requiere de una óptica ad hoc al GTC.

c) **Gran formato (40 mm x 40 mm) y tamaño de pixel (20  $\mu\text{m}$ ).**

Con la tecnología potencialmente disponible se podría desarrollar un formato superior a 15 mm x 15 mm para un sensor monolítico con un pixel de tamaño comprendido entre 10  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$ .

d) **Alta eficiencia de detección** de fotones en un amplio rango espectral en el rango visible (30% a 350 nm, 80% a 550 nm, 30% a 900 nm ): Con la tecnología potencialmente disponible se podría conseguir las siguientes eficiencias > 15% a 350 nm, > 45% a 550 nm, > 20% a 800 nm.

e) **Resolución temporal inferior a 30 picosegundos.**

Con la tecnología potencialmente disponible se podría alcanzar la resolución temporal de *jitter* (FWHM) para el SPAD demandada. Sin embargo, la resolución temporal total, teniendo en cuenta todas las contribuciones - además del *jitter* - deberá alcanzar un valor inferior a 120 picosegundos.

f) **Tasas mínimas de corriente de oscuridad.**

Con la tecnología potencialmente disponible sería necesario enfriar el detector SPAD a temperaturas inferiores a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  para garantizar una corriente de oscuridad mínima. La cámara SPAD compacta requería, por tanto, de un sistema de refrigeración termoeléctrico diseñado al efecto.

g) **Integración en cámara comercial**

Frente a la idea inicial de realizar la verificación del detector de SPADs en una cámara comercial se advierte que:

- el diseño de la óptica de la cámara debe ser proporcionado por el CSIC (para asegurar el adecuado acoplamiento al Gran Telescopio Canarias);
- en caso de requerir *array* de microlentes, éste debe estar ensamblado en la cámara; y,
- el control preciso de la temperatura en el detector requiere del diseño de un sistema *Peltier* específico y condiciones de vacío en la cámara.

Estas tres cuestiones hacen que sea necesario el desarrollo de una cámara compacta específica.

En el Apéndice 1 se realiza una comparativa entre las características de partida y la capacidad tecnológica potencial del mercado.

### 7.3.-Grado de interés y pertinencia atendiendo a la tecnología potencialmente disponible.

Tal y como se indica en el punto 9 del apartado 3 del presente Informe de Conclusiones, una vez realizado el estudio -cuyas conclusiones se resumen en el punto 7.2-, la OCPI presenta a la Dirección de Tecnología e Internacionalización del CDTI las características técnicas del detector SPAD que el mercado podría llegar a desarrollar para observación astronómica. Desde dicha Dirección se confirma que un detector de SPADs con las citadas características conformaría un sistema especializado y poco común, y que la tecnología inherente a desarrollar capacitaría a la industria nacional para acceder a un sector altamente tecnológico.

Atendiendo al límite de la técnica, se considera, por tanto, que las tres propuestas son "Interesante y pertinente".

Clasificación	Número de propuestas
Interesante y pertinente	3
Interesante pero no pertinente	0
Sin interés	0

### 7.4.- Estimación de presupuesto y tiempo de ejecución

Del análisis de las propuestas consideradas finalmente interesantes y pertinentes, y teniendo en cuenta que los participantes han considerado confidencial gran parte de la información recogida en el formulario de solicitud, se realiza la siguiente valoración general.

Con respecto al presupuesto de ejecución y atendiendo a la información presentada por los proponentes, las estimaciones presupuestarias para la ejecución de las propuestas innovadoras varían entre las siguientes cantidades:

Fase	Mínimo (M€)	Promedio (M€)	Máximo (M€)
Diseño y Desarrollo	4,35	7,70	10,30

Fase	Mínimo (M€)	Promedio (M€)	Máximo (M€)
Validación	0,20	0,85	1,55

Estas cantidades y sus desviaciones deben siempre interpretarse teniendo en cuenta la diferente naturaleza y especificidad de las propuestas de innovación presentadas; en todo caso, se considera que sí pueden actuar como indicador orientativo de los recursos a incurrir en cada una de las fases planteadas para el proyecto.

Además, la distribución del presupuesto por partidas es heterogénea, como cabe esperar ante la complejidad y diversidad de tecnologías presentadas.

Se destaca que la suma de las partidas de Personal y Colaboraciones Externas, que son las que más contribuyen al cumplimiento del criterio de que el valor de los servicios de I+D represente la mayor parte de la inversión, supera el 50% en los 3 casos.

(Personal +CE)/Total	Mínimo (%)	Promedio (%)	Máximo (%)
	55,36	62,59	69,15

Con respecto al plazo de ejecución y atendiendo a la información presentada por los proponentes, las estimaciones sobre el plazo para la ejecución de las propuestas innovadoras se encuentran en los siguientes valores, expresados en meses:

Mínimo (meses)	Promedio (meses)	Máximo (meses)
36	38	42

Del mismo modo, estas cantidades son indicativas y su interpretación debe realizarse considerando la diversidad de las soluciones innovadoras presentadas y los períodos necesarios para su desarrollo e implementación; en todo caso, sí que actúan como orientación de los plazos estimados para cada fase.

En todo caso, los aspectos relacionados con el plazo de ejecución deben ser compatibles con las restricciones en materia de plazos de su fuente de financiación.

## **8. Tecnologías innovadoras a desarrollar**

Sobre los elementos innovadores que se propongan y, frente a las ofertas que finalmente se presenten, se informa que se contrastará que las tecnologías propuestas están realmente en un nivel de madurez tecnológica suficientemente baja para que se pueda considerar como precomercial (TRL 6 máximo), así como suficiente alta (TRL 4 mínimo) como para que pueda ser desarrollado al nivel requerido en el tiempo estipulado.

Por tanto, se espera que el eje de desarrollo del proyecto sea el diseño, el desarrollo, la construcción, y la verificación de un detector innovador (integrado en una cámara óptica *ad hoc*) basado en las tecnologías SPADs más avanzadas, con el fin de adecuarse a los requisitos finales revisados<sup>6</sup>, tanto en prestaciones como en costes, incluyendo un aumento de TRL que se caracterice por:

- 1) Utilización de técnicas de *Backside Illumination* (BSI).
- 2) Un factor de llenado superior al 80% sin necesidad de microlentes. En caso de que el Factor de Llenado resultase inferior al 95%, se necesita de un *array* de microlentes monolítico (ensamblado junto con el detector en una cámara SPAD compacta).
- 3) Un formato > 15 mm x 15 mm para un sensor monolítico.
- 4) Un pixel de tamaño comprendido entre 10  $\mu\text{m}$  y 30  $\mu\text{m}$ .
- 5) Alta eficiencia de detección de fotones en un amplio rango espectral en el rango visible: > 15% a 350 nm, > 45% a 550 nm, > 20% a 800 nm.
- 6) Resolución temporal total, teniendo en cuenta todas las contribuciones - además del *jitter* - inferior a 120 picosegundos.

---

<sup>6</sup> Como se ha indicado en el apartado 7 del presente Informe, atendiendo a los límites de las tecnologías disponibles en los próximos tres años, las características de la solución demandada para la observación astronómica han sido exhaustiva y convenientemente analizadas y actualizadas -cualitativa y cuantitativamente-.

- 7) Operación del detector de SPADs a temperaturas inferiores a -20 °C para garantizar una corriente de oscuridad mínima; y cámara óptica operando en condiciones de vacío.

Además, la solución a desarrollar debe incluir las siguientes consideraciones:

- i. El plazo previsto para el diseño y desarrollo del prototipo y la validación del mismo en un entorno real y un plan de ejecución máximo de 36 meses, siempre teniendo en cuenta el marco de financiación de la presente ronda FEDER.
- ii. La tecnología propuesta debe encontrarse en un nivel de madurez inicial de TRL4 o TRL5, o al nivel suficiente para ser validada en el mencionado plazo a escala demostrativa y con características de instalación completa (detector integrado en cámara compacta para su verificación) en entorno real, en el Gran Telescopio Canarias.
- iii. El citado emplazamiento reunirá las características más idóneas acordes a las características de la tecnología y sus fases de desarrollo.
- iv. El pliego motivará que las ofertas profundicen en este aspecto para poder garantizar la instalación, explotación y la existencia de emplazamientos, acorde a las fases y escala del proyecto demostrativo que se definan.
- v. Respecto a los factores medioambientales, se solicitarán actuaciones y documentación que aseguren el cumplimiento del principio de no perjuicio significativo a los seis objetivos medioambientales (DNSH) definidos en el Reglamento (UE) 2020/852.
- vi. Los costes imputables en el desarrollo y validación de la solución propuesta deberán contar con una inversión mínima del 51% en actividades de I+D.
- vii. La empresa adjudicataria deberá garantizar la igualdad entre mujeres y hombres en el trato, en el acceso al empleo, clasificación profesional, promoción, permanencia, formación, extinción, retribuciones, calidad y estabilidad laboral, duración y ordenación de la jornada laboral. Así mismo, durante la ejecución del contrato, la empresa adjudicataria mantendrá medidas que favorezcan la conciliación de la vida personal, familiar y laboral de las personas adscritas a la ejecución.

## **9.- Vigilancia tecnológica**

Además de la información recopilada en la CPM, se ha solicitado informe de vigilancia tecnológica por parte de la OEPM (23/10/2024) en el cual se concluye que:

- los sensores de imagen fabricados con *arrays* de diodos SPAD tienen áreas predominantes de aplicación en vehículos autónomos, ciencias

de la vida, navegación por satélite, comunicación cuántica, seguridad y defensa;

- en algún caso, se menciona la introducción de la tecnología SPAD en astronomía, no identificándose desarrollos particulares para la observación espacial.

Así mismo, se ha llevado a cabo una vigilancia bibliográfica desde el CDTI y desde el CSIC que confirma las conclusiones anteriores.

## **10.- Impacto del desarrollo de tecnologías de Detectores SPADs en el ámbito nacional.**

### **10.1. Desarrollo y Fabricación de SPADs: solución tractora**

España disfruta de una posición de liderazgo en infraestructuras de comunicación y conectividad, y cuenta con entidades expertas en materia de electrónica, micro y nanoelectrónica, y fotónica. No cuenta, en cambio, de foundries para la fabricación de semiconductores.

Aunque la solución del Reto tecnológico planteado demanda una importante y obligada colaboración con una *foundry* - ubicada necesariamente fuera de España -, requiere también del diseño no solo del módulo del SPAD, sino también del diseño de la circuitería integrada para la lectura (ASIC, por sus siglas en inglés de Application-Specific Integrated Circuits) de varios millones de píxeles, del control y comunicaciones y adaptación de la respuesta del sensor, así como del desarrollo y fabricación de la cámara necesaria para la verificación del detector de SPADs para astronomía, incluido su sistema de refrigeración termoeléctrica en condiciones de vacío.

La fabricación del prototipo de un detector de SPADs avanzado y de gran formato es, sin lugar a duda, una solución tractora, para el desarrollo de una ASIC y una cámara óptica en el ámbito nacional.

### **10.2. Impacto socioeconómico en la Isla de la Palma**

De lo descrito en el apartado anterior se concluye que el desarrollo de la tecnología de detectores de SPADs con las características recogidas en el apartado 9 fomentará un entorno necesariamente colaborativo y al servicio de la innovación, integrando investigación científica de alto nivel con desarrollo tecnológico de vanguardia para garantizar la implementación y operación

exitosa de la solución en el Interferómetro de La Palma (LPI), abriendo nuevas posibilidades para la investigación astronómica y la comprensión del universo.

La permanencia de la solución innovadora en el escenario de validación, sito en el municipio de Garafía, en la isla canaria de La Palma, así como el esperado despliegue de la tecnología asociada al detector de SPADs creará nuevas oportunidades profesionales en campos y sectores diversos (incluidos la microelectrónica, la fotónica, las telecomunicaciones y la instrumentación científica, incluido el sector aeroespacial), actuando como catalizador para la atracción empresas tecnológicas a la isla y para la creación de empleo.

## **11.- Conclusiones**

De acuerdo con la información recibida de los actores económicos y obtenida de la vigilancia tecnológica, se establece que la tecnología existente en el mercado, tal y como se está explotando, no es capaz de cubrir el reto tecnológico planteado, si bien, se concluye que mediante la adquisición de determinados servicios de I+D se pueden alcanzar los objetivos revisados en un plazo de tiempo razonable. Por este motivo, se considera adecuado iniciar un procedimiento de CPP al respecto.

Las ideas innovadoras presentadas se tendrán en cuenta en la preparación del pliego para la realización de la futura licitación de Compra Pública Precomercial.

La difusión de este informe, mediante publicación en la web del CDTI ([www.cdti.es](http://www.cdti.es)) y en la PLACSP<sup>7</sup>, asegura que esté al alcance de cualquier proveedor potencial, garantizando la transparencia y la libre competencia en el eventual proceso de Compra Pública Precomercial.

## **12.- Bibliografía**

Se enlista a continuación los principales trabajos académicos consultados. Véanse las referencias bibliográficas que, a su vez, aparecen en los mismos.

[1] Cusini, I., Berretta, D., Conca, E., Incoronato, A., Madonini, F., Maurina, A. A., Nonne, C., Riccardo, S., & Villa, F. (2022). Historical Perspectives, State of Art and Research Trends of SPAD Arrays and Their Applications (Part II: SPAD Arrays). *Frontiers in Physics*, 10, Article 906671.

---

<sup>7</sup> Plataforma de Contratación del Sector Público

[2] B. Mamdy, R. A. Bianchi, D. Golanski, B. Rae, T. M. Bah, D. Rideau, F. Twaddle, R. Helleboid, C. Buj, N. Moussy, et al. *A High PDE and High Maximum Count Rate and Low Power Consumption 3D-Stacked SPAD Device for LiDAR Applications*, in Proc. International Image Sensor Workshop (IISW), Scotland, UK, 21–25 May 2023.

[3] Maciej Wojtkiewicz and Robert Henderson. Review of Back-Side Illuminated 3-D-Stacked SPADs for Time-of-Flight and Single-Photon Imaging. *IEEE Transactions on Electron Devices*. 2024. 71 (6) p 3470-3477. ISSN/ISBN: 0018-9383. DOI: 10.1109/TED.2024.3389639.

## Apéndice 1

Característica/Funcionalidad	Anexo I CPM	Capacidad tecnológica potencial del mercado
Observación del sistema binario de rayos X de alta masa Cygnus X-1	Observación y estudio de eventos ultrarrápidos y fenómenos transitorios con una resolución temporal sin precedentes, en el rango de los picosegundos Esto incluye la realización de estudios sobre: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Púlsares,</li> <li>• Kilonovas y</li> <li>• Ráfagas rápidas de radio,</li> </ul>	Observaciones de interferometría de intensidad en el visible con una resolución temporal sin precedentes para resolver las regiones más internas del disco de acreción de agujeros negros, ofreciendo perspectivas sobre su dinámica y procesos físicos. El detector es válido igualmente para el estudio de: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Púlsares,</li> <li>• Kilonovas y</li> <li>• Ráfagas rápidas de radio.</li> </ul>
Factor de llenado ( <i>Fill Factor</i> )	Superior a 95% (sin uso de microlentes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superior a 80% sin uso de microlentes; o</li> <li>• En caso de <i>Fill Factor</i> &lt;95%: Ensamble de un <i>array</i> de microlentes monolítico en cámara óptica.</li> </ul>
Gran formato	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 40 mm x 40 mm</li> <li>• Tamaño de píxel de 20 <math>\mu\text{m}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;15 mm x 15 mm para sensor monolítico</li> <li>• 10 <math>\mu\text{m}</math> <math>\leq</math> Tamaño de píxel <math>\leq</math> 30 <math>\mu\text{m}</math>.</li> </ul>
Eficiencia espectral en amplio rango espectral en el visible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30% a 350 nm</li> <li>• 80% a 550 nm</li> <li>• 30% a 900 nm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &gt;15% a 350 nm</li> <li>• &gt;45% a 550 nm</li> <li>• &gt;20% a 800 nm.</li> </ul>
Resolución temporal	Inferior a 30 ps	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolución total temporal (atendiendo a todas las contribuciones, incluido el <i>jitter</i>) <math>\leq</math> 120 ps</li> </ul>
Tasas mínimas de oscuridad	Tasas mínimas de oscuridad	Enfriamiento del detector de SPADs a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en condiciones de vacío
Necesidad de integración del detector en una cámara.	El detector SPAD se integrará en una cámara comercial y se acoplará al espectrógrafo OSIRIS+MAAT del Gran Telescopio Canarias (GTC)	La solución innovadora demandada será el detector de SPADs integrado en una cámara compacta de imagen, conjunto que será validado en el marco del RETO en el GTC.