

**ANEXO No. 1 DEL CONTRATO DE SUBSIDIO ECONÓMICO No. \_\_\_\_\_**

**PLAN DE TRABAJO**

De conformidad con lo establecido en el artículo 48 de la Resolución de Junta Directiva de la **SENACYT**, No. 01 de 13 de enero de 2022, se agrega el Anexo No. 1 del presente Contrato de Subsidio Económico, que contiene el Plan de Trabajo adecuado del Proyecto “Desarrollo de biosensores de detección automática utilizando micro voladizos basados en diamante ultrananocristalino para la detección de patógenos” beneficiado dentro de la **Convocatoria Pública de Fomento a I+D (FID) 2022**, de conformidad con las siguientes cláusulas:

**CLÁUSULA PRIMERA:** el plan de trabajo quedará como sigue

**DATOS DEL BENEFICIARIO**

<b>Nombre Completo</b>	Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencias, Ingeniería y Tecnología (CEMCIT-AIP)
<b>Representante Legal</b>	Héctor M. Montemayor Á.
<b>Número de cédula</b>	9-68-267
<b>Fecha de nacimiento</b>	19 de junio de 1941
<b>Lugar de nacimiento</b>	Veraguas, Las Palmas
<b>Nacionalidad</b>	Panameña
<b>Dirección postal</b>	0819-07289
<b>Teléfonos</b>	560-3759 / 3178
<b>Correo electrónico</b>	<a href="mailto:hmontemayor@cemcit.org.pa">hmontemayor@cemcit.org.pa</a>

**DATOS DEL INVESTIGADOR PRINCIPAL**

<b>Nombre Completo</b>	Elida I. de Obaldía
<b>Número de cédula</b>	4-138-2260
<b>Fecha de nacimiento</b>	2 de marzo de 1960
<b>Lugar de nacimiento</b>	David
<b>Nacionalidad</b>	Panameña
<b>Dirección postal</b>	no aplica
<b>Teléfono (fijo y móvil)</b>	6576-1821, 833-9080
<b>Correo electrónico</b>	<a href="mailto:elida.deobaldia@utp.ac.pa">elida.deobaldia@utp.ac.pa</a>

**TIEMPO TOTAL DE EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA:** 24 meses

**MONTO TOTAL DEL PROYECTO:** B/. 120,000.00

## 1. ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

Los sistemas micro-electromecánicos (en inglés microelectromechanical systems (MEMS)) son definidos y fabricados comúnmente como dispositivos de dimensiones en el rango de micrones, e incluyen elementos pasivos y activos diseñados para realizar funciones como percepción, procesamiento de datos, comunicación o actuación sobre el entorno, y generación de energía. Los MEMS se fabrican a escalas que van desde los micrómetros hasta los milímetros como se puede apreciar en la Figura 1 [1]. A esta escala los efectos de superficie como electrostática y viscosidad dominan a los efectos de volumen tales como la inercia o la masa térmica. [2]

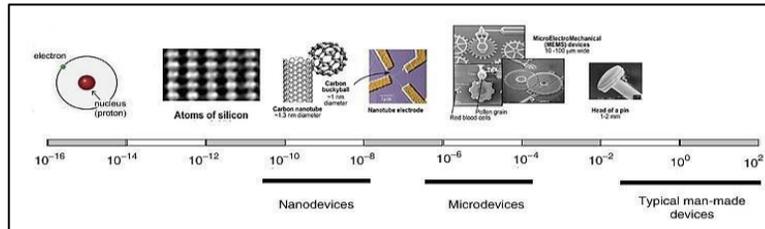


Figura 1- Escala logarítmica que muestra el rango de los MEMS ( $10^{-8}$  a  $10^{-1}$  m)

El principio de funcionamiento de los MEMS puede ser de carácter eléctrico, magnético, óptico, térmico, mecánico o fluido. La arquitectura de dispositivos MEMS abarca circuitos electrónicos y/u ópticos, generadores de señal y receptores, micro-sensores, micro-actuadores y micro-generadores. Desde sus principios, dispositivos MEMS han sido utilizados en el área de salud [3] [4], para medir los niveles de tóxicos en la sangre [1], bio sensores para gases y patógenos [2], [4], para la aplicación de medicamentos [5] y la detección de cáncer [6]. La Figura 2 muestra los componentes necesarios para la detección de material biológico. El Antígeno se adhiere al anticuerpo, adherido en la superficie del sensor, produciendo un cambio en el elemento sensor, que puede ser un cambio de masa, un cambio de resistencia o un cambio de longitud de onda basado en biosensores de fibras ópticas.

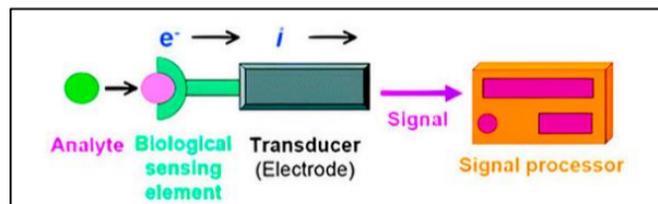


Figura 2 - Diseño básico de un biosensor [7]

Estas pruebas se diferencian de las pruebas ELISA (Enzyme-Linked Immunoassay) en la forma de detección. Las pruebas ELISA requieren de un conjugado (que se adhiera al antígeno) y que reaccione de tal manera que cambia de color en presencia de otra sustancia, por ejemplo, la oxidación. Esto requiere del desarrollo y la existencia del conjugado adecuado. Para los sensores basados en dispositivos MEMS, este conjugado no es necesario y la presencia del antígeno se puede detectar directamente de una manera más rápida. Esta es quizás la mayor ventaja que esta tecnología ofrece. La tecnología actual para el desarrollo de dispositivos MEMS utiliza como sustrato de soporte el silicio debido a que la mayoría de la maquinaria para micro fabricación se deriva de la industria semiconductora [8]. Sin embargo, el silicio presenta marcadas desventajas con respecto a las películas de diamante policristalino (ejemplo UNCD) debido a su alto coeficiente de fricción, bajas propiedades tribológicas, baja densidad de energía de cohesión, entre otras características contrastadas en la Tabla 1. Todas estas desventajas se traducen en un pobre desempeño y más corto tiempo de vida en aplicaciones que requieren partes móviles comparados con MEMS desarrollados en

sustratos de diamante policristalino, UNCD [8], [9]. Entre las características más importantes para el desarrollo de dispositivos MEMS es la figura de mérito de la velocidad acústica junto con el módulo de Young se traduce en frecuencias mayores para dada geometría, lo que implica diseños más factibles para manufactura. [10]

Propiedad	Silicio	Diamante
Parámetro de Red (Å)	5,43	3,57
Energía de Cohesión (eV)	4,64	7,36
Módulo de Young (GPa)	130	1200
Módulo de Cizalladura (Gpa)	80	577
Dureza (kg/mm <sup>2</sup> )	1000	10000
Resistencia a la Fractura (Gpa)	1,0	5,3
Resistencia Flexural (Mpa)	127,6	2,944
Coefficiente de Fricción	0.4-0.6	0.01-0.04
Velocidad Acústica (m/s)	8100	16,760

La funcionalidad del UNCD para su uso en biosensores radica en que existen procesos de funcionalización fotoquímica, electroquímica y en superficie hidrogenadas que pueden ser implementados para la detección de entes patógenos en biosensores [11]. Se han realizado para determinar la funcionalización de la superficie de UNCD con antígenos para la detección de la bacteria E.Coli la cual es una bacteria de interés debido a la alta resistencia a los antibióticos actuales [7]. Otros estudios han sido dirigidos hacia la demostración de la estabilidad de proteínas inmovilizadas sobre superficies de diamante, principalmente de diamante policristalino. Todos estos resultados encaminan el UNCD al desarrollo de numerosas aplicaciones para la detección de entes patógenos; ya que se podría funcionalizar la superficie con inmunoglobulinas y antígenos que emulan el sistema de detección molecular en el cuerpo humano [3], [7].

Dispositivos MEMS en forma de voladizas (ver Figura 3) han sido utilizadas como biosensores para la detección de cáncer [6], así como para la detección de bacterias [12]. La tecnología de biosensores basados en estructuras en voladizo, como se ha detallado anteriormente, no es nueva. Sin embargo, la mayor parte ha sido desarrollada sobre silicio [2].

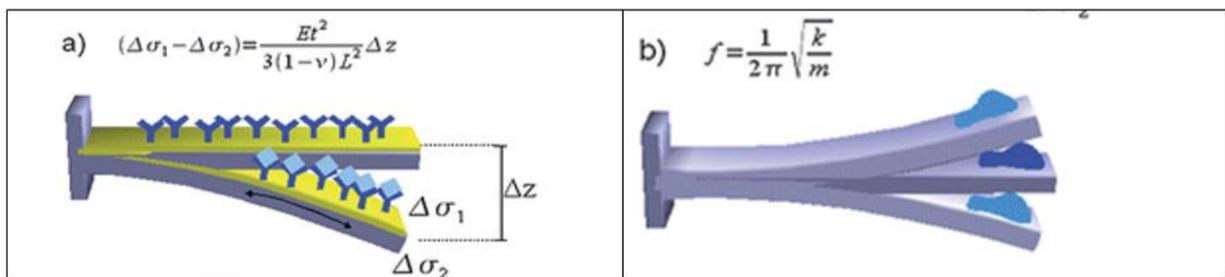


Figura 3 - Esquema de la utilización de voladizas para biosensores

La integración de sustratos de UNCD como soporte para micro MEMS ha sido demostrada por el Dr. Auciello, uno de los proponentes de esta propuesta. La Figura 4 muestra el proceso utilizado para la fabricación de los voladizos, o estructuras con un extremo libre y el otro atado a un transductor, basadas en UNCD [8] [[13]. El dispositivo en la Figura 4(g) fue utilizado para la detección de antrax (Bacillus antracis) Estos resonadores de alta frecuencia son fabricados con las mismas técnicas utilizadas en la industria de semiconductoras las cuales con compatibles con la fabricación de dispositivos CMOS [14].

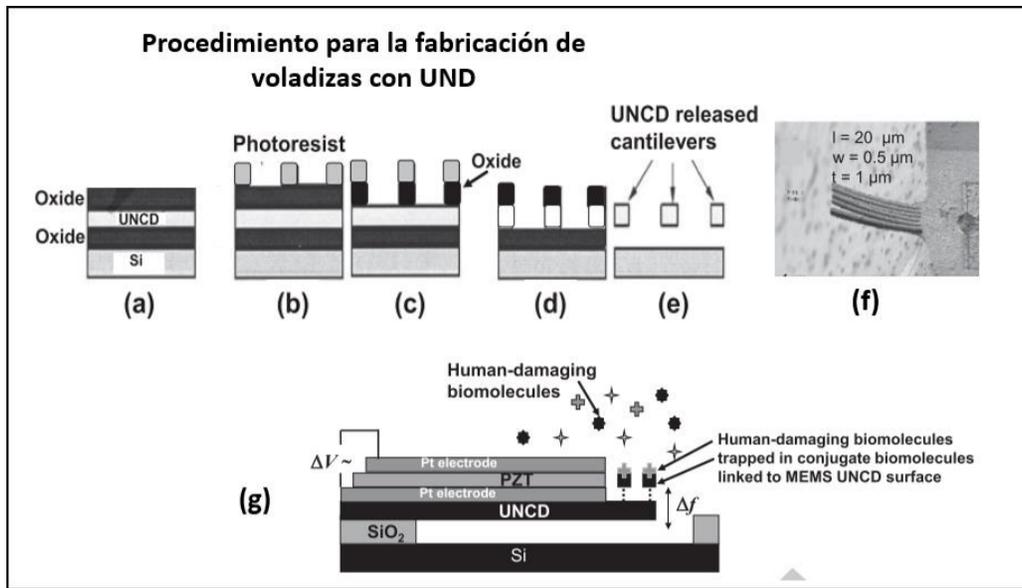


Figura 4 - Proceso para la fabricación de voladizas basadas en UNCD demostrado por el grupo de O. Auciello [8], [13]

El propósito de esta propuesta es para realizar investigación y desarrollo tecnológico para desarrollar un biosensor basado en UNCD como base de los voladizos que mida su propia frecuencia de resonancia (se auto-sense) por medio de un circuito externo y que sirva de base para sensar patógenos o antígenos específicos. El material UNCD ha sido extensamente estudiado por el grupo de proponentes, [15]–[19]. Como se mencionó anteriormente, existen varios trabajos que demuestran que la superficie del UNCD se puede adaptar para que funcione como biosensor [8], [20], [21] lo que hace más factible el logro de nuestro objetivo. Además, actualmente, se están realizando simulaciones para determinar el tamaño y el diseño óptimo de la estructura que se desea desarrollar, siguiendo las directrices de la literatura [12], [22], [23]. Se espera demostrar el proceso de detección utilizando un patógeno no viral y su respectivo antibiótico.

El Dr. Orlando Auciello, cuenta con equipos para el crecimiento de películas de UNCD por los procesos conocidos con los nombres, en Inglés, de Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition (MPCVD) y Hot Filament Chemical Vapor Deposition (HFCVD). El proceso MPCVD crea un plasma por aplicación de microondas a un gas, formado por una mezcla de gas Argón (Ar) y Metano (CH<sub>4</sub>) introducido en una cámara evacuada de aire a un vacío de  $\sim 10^{-7}$  Torr. Las microondas rompen las moléculas de CH<sub>4</sub>, produciendo átomos de C que se unen químicamente sobre la superficie de substratos y crecen las películas de UNCD. El proceso de HFCVD es basado en fluir una mezcla de Ar/ CH<sub>4</sub>/ H<sub>2</sub>, a través de un arreglo de filamentos de tungsteno que son calentados hasta  $\sim 2,200$  °C, pasando corriente, induciendo la rotura de las moléculas de CH<sub>4</sub> y produciendo átomos de C que racionan químicamente sobre las superficies de substratos creciendo las películas de UNCD. El sistema MPCVD es un sistema de tipo industrial, con capacidad de crecer películas de UNCD sobre áreas de hasta 200 mm de diámetro, para procesos industriales, mientras que el sistema de HFCVD es un sistema de investigación con capacidad de crecer películas de UNCD sobre substratos con diámetros de 100 mm. Ambos sistemas están operando en la universidad de Texas en Dallas en laboratorios del Prof. Auciello. Adicionalmente, por medio del Dr. Auciello, los colaboradores de esta propuesta cuenta con acceso completo al cuarto limpio, en donde se tiene acceso a equipos para realizar grabado químico (bases y ácidos), equipo para foto-litografía, grabado por iones reactivos, equipos de caracterización como espectrómetro Raman, microscopios electrónico de Barrido (SEM y HRTEM), XPS y XRD.

Esta colaboración cuenta también con la participación del Dr. Jesus Alcantar [24] [25], el Dr. Israel Mejía [25], Dra. Daniela Díaz y el Dr. Pablo Tirado, expertos en el desarrollo de dispositivos MEMS, biosensores, micro voladizos y circuitos integrados hasta su aplicación en dispositivos médicos, realizando maduración tecnológica (Technology readiness levels – TRL) desde TRL1-2 hasta TRL7-8 estableciendo mecanismos de transferencia tecnológica. Recientemente cuentan con la experiencia de establecer una

producción piloto de monitores de temperatura con procesamiento de datos en la nube, dicho dispositivo fue como parte de la estrategia de contingencia federal ante el COVID-19, debido a la escasez y alta demanda de componentes semiconductores y dispositivos médicos, se realizó la gestión de producción de sensores y su implementación en dispositivos médicos hasta su aprobación ante la entidad de regulación sanitaria, la COFEPRIS para poder ser distribuido como dispositivo médico.

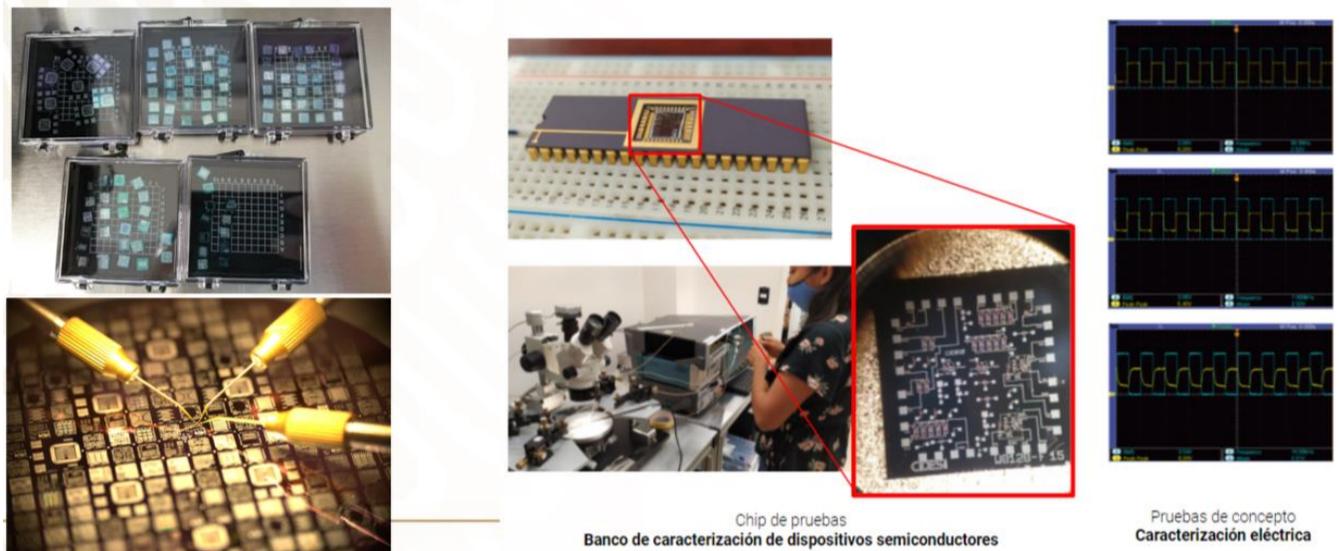


Figura 5. Circuitos Integrados fabricados en el CIDESI

La figura 5 muestra las capacidades en el CIDESI para el desarrollo de dispositivos basados en la tecnología de semiconductores de circuitos integrados. Figura 5 (a y b) muestran los dispositivos manufacturados a las especificaciones del diseño propuesto. La Figura (b, c y d) muestran el equipo disponible para las caracterizaciones eléctricas. Se espera en esta propuesta comenzar a equipar el laboratorio de MEMS con equipo de caracterización eléctrica.

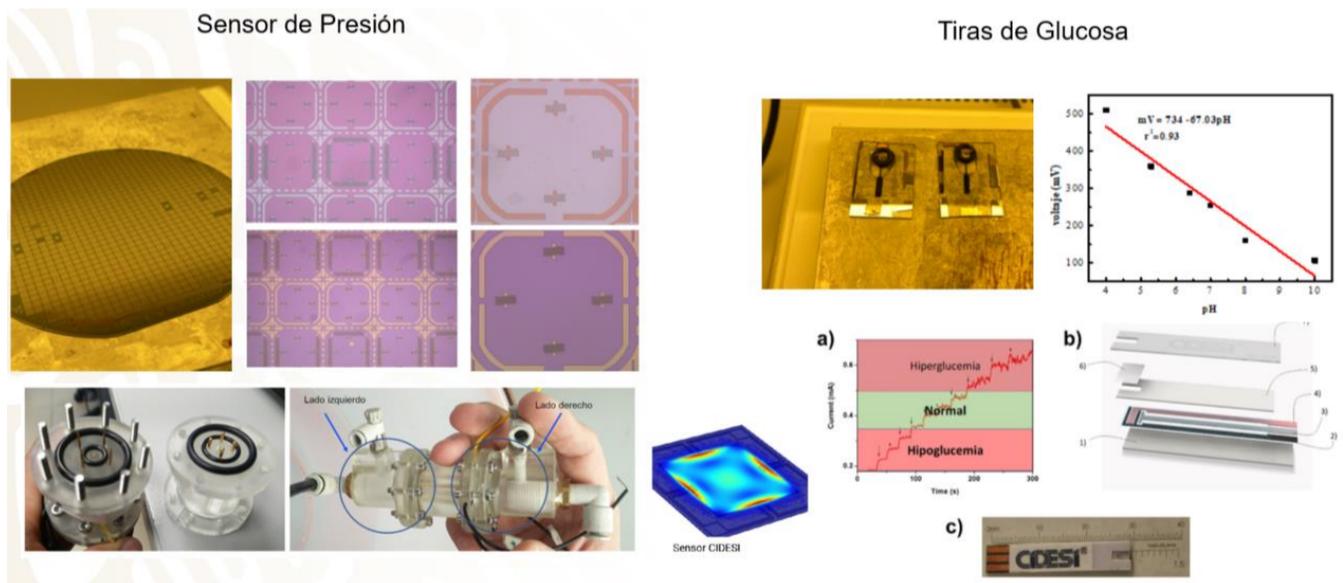


Figura 6. Sensores de presión, sensores de glucosa y pH desarrollados en CIDESI

La colaboración con CIDESI es de suma importancia, ya que la transferencia de conocimiento hacia Panamá reside en la mutua colaboración. CIDESI cuenta con la tecnología para desarrollar sensores e integrarlos en una aplicación particular como se muestra en la Figura 6, la cual presenta dos tipos de sensores un sensor de presión diferencial, utilizado en ventiladores, y un sensor de glucosa basado en medidas del pH. CIDESI también ha desarrollado sensores de flujo y de Fio2 como se muestra en la Figura 7.

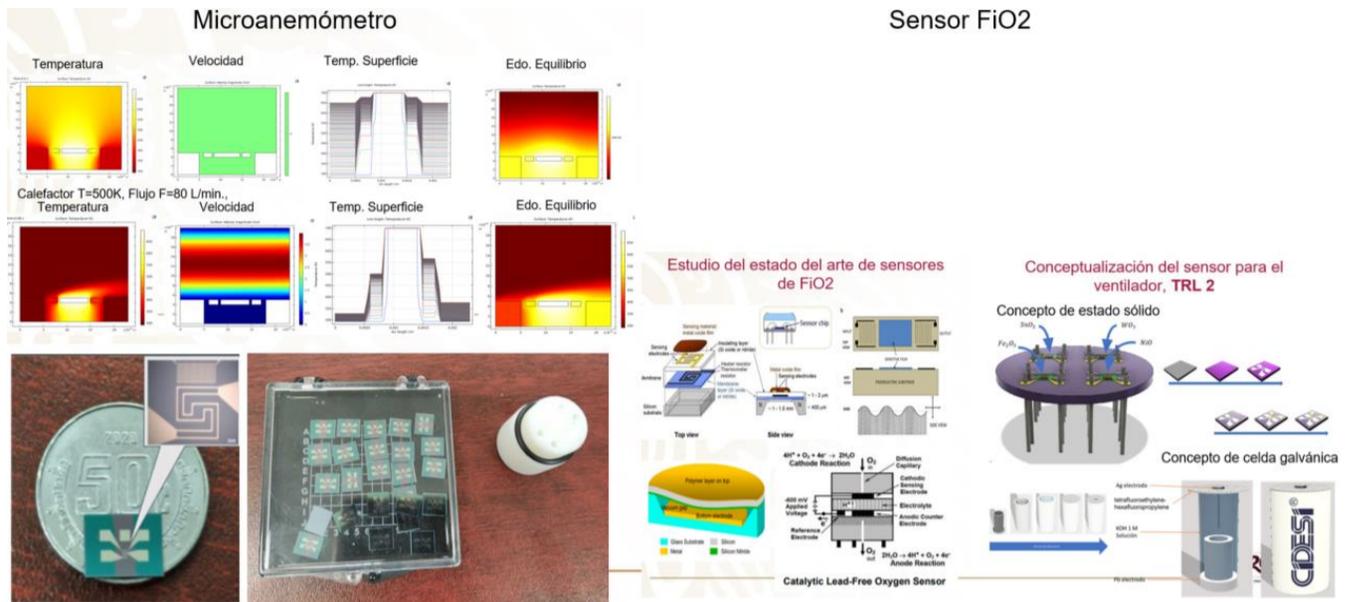


Figura 7. Sensores de flujo de aire y gases desarrollados en CIDESI

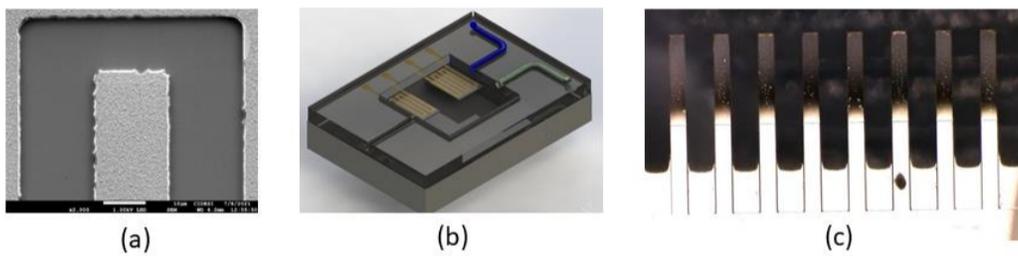


Figura 8 - Biosensores basados en microvoladizas en desarrollo en CIDESI

La figura 8 muestra el desarrollo actual de microvoladizas en CIDESI. Figura 8 (a) muestra estructura y dimensiones de las microvoladizas (alrededor de 15 mm), (b) esquema de simulación de las microvoladizas y (c) imagen de la matriz de las voladizas en desarrollo.

En el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI) contamos con un Laboratorio de Microtecnología, (ver figura 9) el cual está dedicado a operar como una plataforma de investigación y desarrollo, que se aplica principalmente a las necesidades inmediatas y fundamentales de la industria y la comunidad científica. El laboratorio consta de 12 áreas de trabajo operativo que ocupan un área física total de 360 m<sup>2</sup>. Su infraestructura incluye control de temperatura, flujo de aire puro, ducha de aire puro al acceso y esclusas de paso que en conjunto permite minimizar la contaminación y alcanzar la clase 100 y 1,000 (ISO 5 y 6).



*Figura 9 - Equipo disponible para desarrollo de Microvoladizas en CIDESI*

La propuesta cuenta con la Dra. Miryam Venegas-Anaya, médico veterinario con experiencia en el cultivo y detección de patógenos mediante la prueba de ELISA y otras técnicas moleculares y con su estudiante de doctorado, la microbióloga, Licda. Melciellyne Aguilar, con experiencia en el aislamiento y cultivo de bacterias. Y con el apoyo del doctorando Hector Miranda, para la habilitación del desarrollo del laboratorio de MEMs en Panamá.

Toda esta experticia internacional, es de importancia para el desarrollo futuro de tecnologías de semiconductores que integran sensores MEMS. Es por esto, que directamente, la transferencia de conocimiento y tecnología por parte de los integrantes internacionales a personal de la Universidad Tecnológica de Panamá generará la existencia de personal capacitado para el desarrollo en el área de fabricación de dispositivos electrónicos y MEMS en general.

## **2. JUSTIFICACIÓN Y PROBLEMA A INVESTIGAR**

Existen en Panamá entes patógenos, principalmente bacterias, que son capaces de contaminar el agua potable, los productos alimenticios, entre otros. Por ejemplo, un caso muy común, es el caso de la bacteria E. Coli. En Panamá, un grupo de científicos demostró la presencia de un clon pandémico de E. Coli ST131, portador de  $\beta$ -lactamasas de espectro extendido, las cuales son un problema grave para la salud pública debido a que desde 2008 han demostrado alta resistencia a los antibióticos e identificadas en tres continentes [26]. La presencia de este clon de E. coli fue reportado por la Dra. Virginia Samudio Nuñez (TVN, el día 8 de agosto de 2021). De hecho, es conocido que varias cepas de E. Coli pueden ser resistentes a antibióticos basados en  $\beta$ -lactam, lo cual dificulta el tratamiento de infecciones urinarias y del tracto digestivo causadas por cepas de estas bacterias. [27] Es por esto, que contar la tecnología de bio-sensores adaptables a patógenos específicos, que permitan la detección rápida del patógeno en cuestión, representa un avance tecnológico al que deben tener acceso los científicos panameños. Los MEMS han probado ser soluciones rápidas y baratas para detectar patógenos específicos.

Esta propuesta desarrollará un dispositivo micro-electromecánico, utilizando materiales biocompatibles basados en UNCDs, que se pueda adaptar para la detección de un ente patógeno de forma rápida ya que no requiere el desarrollo de un elemento conjugado como lo requiere la tecnología ELISA. En esta propuesta se estarán haciendo las simulaciones para optimizar las dimensiones de las voladizas para un patógeno en específico por determinar. Se desarrollará un prototipo y se medirá el cambio de resonancia de las voladizas utilizando material inorgánico que simule el funcionamiento de la estructura bajo las condiciones de exposición a entes patógenos específicos [21] y posteriormente con un patógeno real de ser accesible. Los resultados se validarán mediante la prueba de ELISA.

El desarrollo de esta tecnología estaría dotando a panameños del conocimiento en la fabricación y caracterización de dispositivos MEMS, cuya manufactura está ligada a la industria de semiconductores, ampliando las habilidades de la mano de obra panameña. La industria de semiconductores es de importancia para un país que quiere creer en tecnología.

### **3. PERTINENCIA EN RELACIÓN CON EL PLAN ESTRATÉGICO NACIONAL DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN (PENCIYT) 2019-2024 y/u otros planes nacionales**

Existen en Panamá entes patógenos, principalmente bacterias, que son capaces de contaminar el agua potable, los productos alimenticios, entre otros. Por ejemplo, un caso muy común, es el caso de la bacteria E. Coli. En Panamá, un grupo de científicos demostró la presencia de un clon pandémico de E. Coli ST131, portador de  $\beta$ -lactamasas de espectro extendido, las cuales son un problema grave para la salud pública debido a que desde 2008 han demostrado alta resistencia a los antibióticos e identificadas en tres continentes [26]. La presencia de este clon de E. coli fue reportado por la Dra. Virginia Samudio Nuñez (TVN, el día 8 de agosto de 2021). De hecho, es conocido que varias cepas de E. Coli pueden ser resistentes a antibióticos basados en  $\beta$ -lactam, lo cual dificulta el tratamiento de infecciones urinarias y del tracto digestivo causadas por cepas de estas bacterias. [27] Es por esto, que contar la tecnología de bio-sensores adaptables a patógenos específicos, que permitan la detección rápida del patógeno en cuestión, representa un avance tecnológico al que deben tener acceso los científicos panameños. Los MEMS han probado ser soluciones rápidas y baratas para detectar patógenos específicos.

Esta propuesta desarrollará un dispositivo micro-electromecánico, utilizando materiales biocompatibles basados en UNCDs, que se pueda adaptar para la detección de un ente patógeno de forma rápida ya que no requiere el desarrollo de un elemento conjugado como lo requiere la tecnología ELISA. En esta propuesta se estarán haciendo las simulaciones para optimizar las dimensiones de las voladizas para un patógeno en específico por determinar. Se desarrollará un prototipo y se medirá el cambio de resonancia de las voladizas utilizando material inorgánico que simule el funcionamiento de la estructura bajo las condiciones de exposición a entes patógenos específicos [21] y posteriormente con un patógeno real de ser accesible. Los resultados se validarán mediante la prueba de ELISA.

El desarrollo de esta tecnología estaría dotando a panameños del conocimiento en la fabricación y caracterización de dispositivos MEMS, cuya manufactura está ligada a la industria de semiconductores, ampliando las habilidades de la mano de obra panameña. La industria de semiconductores es de importancia para un país que quiere creer en tecnología.

### **4. BENEFICIOS Y PRINCIPALES BENEFICIARIOS**

Preparación de recurso humano altamente calificado: Culminación de estudios doctorales de estudiante panameño en el área de biotecnología, pasantía de un año de personal panameño como asistente de laboratorio en técnicas de procesos de semiconductores.

Los investigadores panameños, contarían con recursos para mediciones piezoeléctricas en el laboratorio Pierre-Marie Curie.

Nueva línea de investigación con colaboradores internacionales de alto renombre.

### **5. IMPACTO ESPERADO**

A corto plazo, la realización de esta propuesta producirá personal altamente capacitado en el área de procesos de semiconductores, especialmente en los procesos relacionados con micro dispositivos electrónicos. Además, aporta al crecimiento de la disciplina de biotecnología en Panamá, creado una línea de investigación específica en la utilización de los MEMS para detección temprana de patógenos. A mediano plazo, se sientan las bases para desarrollar competencias en la industria de semiconductores, un interés del país para diversificar sus ingresos. Y a largo plazo, se espera que si Panamá puede demostrar competencias en el área de semiconductores, podría resultar en inversiones extranjeras en dicha industria.

## 6. OBJETIVOS DEL PROYECTO

### Objetivo general

Desarrollar un dispositivo micro-electromecánico, basado en voladizas y utilizando materiales biocompatibles (UNCD) que se pueda adaptar para la detección de un patógeno específico.

### Objetivos específicos

- Determinar por medio de simulación el diseño óptimo de las voladizas.
- Fabricar y caracterizar voladizas recubiertas con UNCD (y/o N-UNCD)
- Caracterización de la frecuencia de referencia natural de las voladizas.
- Realizar mediciones de las voladizas analizando el cambio de la frecuencia de resonancia basada en la deposición de masa.
- Realizar mediciones con un patógeno (*E.colli*) para la detección por cambio de frecuencia. Prueba de concepto.
- Divulgar de resultados en conferencias nacionales e internacionales y preparación de manuscrito para la publicación.
- Capacitar a personal del proyecto, mediante pasantía en UTD y CIDESI, en el uso de técnicas de deposición química a vapor, técnicas de caracterización de materiales, fabricación y caracterización de dispositivos MEMS.
- Montar un sistema de mediciones para estos dispositivos en la UTP y entrenar a un miembro del personal de la UTP en la caracterización de los dispositivos.

## 7. COLABORADORES DEL PROYECTO

### Investigador principal (IP): Dra. Elida de Obaldia - UTP – Investigadora invitada UTD

1. Coordinar las actividades del proyecto
2. Emplear a un asistente de laboratorio.
3. Garantizar el uso adecuado del equipo adquirido.
4. Establecer la coordinación entre los grupos de UTP, CIDESI y UTD.
5. Asesorar a los estudiantes del proyecto.
6. Mantener un sitio virtual para la comunicación entre miembros del grupo de trabajo.
7. Llevar el estado financiero del proyecto.
8. Elaborar, desarrollar y caracterizar electrodos y dispositivos para el almacenamiento energético.
9. Elaborar y presentar los avances de la investigación a Senacyt.
10. Realizar las gestiones de propiedad intelectual con las instituciones participantes del proyecto, que permitan asegurar que la UTP participe en la propuesta de patentes que se generen de esta investigación.
11. Participar en la divulgación de los resultados de la investigación. La Dra. De Obaldía pasa de 5 a 6 meses en UTD como investigadora invitada y tiene acceso a los equipos de deposición y caracterización de láminas de UNCD y N-UNCD así como la fabricación y mediciones de los dispositivos MEMS.

**Dedicación mensual:** 15 %.

### Co-investigador 1 (Co-IP 1): Daniel Villarreal (Estudiante de Doctorado becado por SENACYT – UTD)

1. Desarrollar el diseño de dispositivos MEMS a base de simulaciones
2. Desarrollar el protocolo para la fabricación de los dispositivos MEMS.
3. Apoyar con la administración del proyecto.
4. Participar en pasantía en CIDESI
5. Desarrollar el protocolo de mediciones
6. Apoyar al asistente de laboratorio.
7. Contribuir en la divulgación de los resultados del proyecto.
8. Realizará su borrador de tesis de grado como parte de la investigación

Dedicación mensual: **50 %**

**Co-investigador 2 (Co-IP 2): Dr. Jesús J. Alcántar Peña - CIDESI.**

1. Asesoramiento y mentoría a los integrantes del proyecto sobre desarrollo de dispositivos MEMS .
2. Analizar periódicamente los resultados del proyecto y determinar curso a seguir.
3. Darle seguimiento a cualquier patente o licencia que se logre de este proyecto
4. Aceptar a miembros del proyecto como pasantes en CIDESI por periodos cortos de ser requerido.

Dedicación mensual: **5 %.**

**Co-investigador 3 (Co-IP 3): Dr. Orlando Auciello - Universidad de Texas en Dallas.**

1. Dirección y coordinación de las actividades de crecimiento de láminas de UNCD/ N-UNCD, metales para electrodos, y piezoeléctricas y caracterización de dispositivos MEMS en UTD.
2. Servir de mentor a los integrantes del proyecto.
3. Analizar periódicamente los resultados del proyecto y determinar curso a seguir.
4. Darle seguimiento a cualquier patente o licencia que se logre de este proyecto
5. Aceptar uno o más estudiantes como pasantes por periodos cortos de ser necesario.

Dedicación mensual: **10 %.**

**Co-investigador 4 (Co-IP 3): Dra. Miryan Venagas - CEMCIT-UTP. (Exbecada de SENACYT)**

1. Dirección y asesoramiento de las actividades que requieren microbiología.
2. Analizar los resultados de microbiología y definir la ruta a seguir.
3. Darle seguimiento a cualquier patente o licencia que se logre de este proyecto
4. Colaborar con los integrantes del grupo y proporcionar mentoría en el laboratorio de microbiología.
5. Dedicación mensual: **5 %.**

**Co-investigador 5 (Co-IP 4): Dr. Pablo Tirado - CIDESI**

1. Colaborar en la fabricación y caracterización de dispositivos MEMS en CIDESI y UTP
2. Servir de mentor a los integrantes del proyecto.
3. Analizar periódicamente los resultados del proyecto y determinar curso a seguir.

Dedicación mensual: **10 %.**

**Co-investigador 6 (Co-IP 4): Dra. Daniela Díaz - CIDESI**

1. Colaborar en la fabricación y caracterización de dispositivos MEMS en CIDESI y UTP
2. Soporte en el diseño del micro voladizo.

3. Soporte en procesos de funcionalización de superficies.
4. Servir de mentor a los integrantes del proyecto.
5. Analizar periódicamente los resultados del proyecto y determinar curso a seguir.

Dedicación mensual: **10 %**.

**Co-investigador 7 (Co-IP 4): Dr. Israel Mejía - CIDESI**

1. Servir de mentor en esquemas de licenciamiento de tecnología.
2. Seguimiento de resultados.
3. Servir de mentor en la aplicación de la tecnología en un producto.

Dedicación mensual: **5 %**.

**Co-investigador 8 – Magister Hector Miranda, estudiante de doctorado en física de la UTP (Exbecado de SENACYT)**

1. Instalar y entrenarse en el equipo de adquirido por esta convocatoria
2. Garantizar el uso adecuado del equipo adquirido.
3. Participar en la divulgación de resultados
4. Apoyar en la transferencia de conocimientos de la fabricación y caracterización de dispositivos MEMS

Dedicación mensual: **5 %**.

**Co-investigador 9– Licenciada Melciellyne Aguilar, estudiante del Programa de doctorado en biociencias y biotecnología de la UTP.**

1. Apoyo en el aislamiento, identificación y cultivo del microorganismo requerido
2. Apoyo en las mentorías en microbiología
3. Apoyo en el levantamiento de bibliografía

Dedicación mensual: **5 %**.

**Otros miembros del equipo:**

**Asistente de laboratorio o personal de la UTP– 75% de tiempo dedicado**

1. Elaborar y caracterizar dispositivos MEMS con la supervisión de miembros del proyecto
2. Estar dispuesto a realizar una pasantía en UTDallas y/o CIDESI
3. Asistir al PI con el manejo del programa.
4. Instalar y entrenarse en el equipo de ensamblaje adquirido por esta convocatoria
5. Garantizar el uso adecuado del equipo adquirido.
6. Llevar un diario detallado de las mediciones.
7. Participar en la divulgación de resultados

Dedicación mensual: **75 %**.

## **8. METODOLOGÍA**

### **Materiales y métodos**

La metodología consiste en actividades científicas y actividades administrativas. Entre las actividades científicas se pueden mencionar: simulaciones, diseño, ciencia de materiales y su integración en películas con propiedades químicas, físicas, mecánicas y electrónicas (críticas para el funcionamiento de dispositivos MEMS), integración apropiada de las películas para fabricación y verificación de los dispositivos MEMS, y prueba conceptual de los dispositivos MEMS con material orgánico activo. Entre las actividades administrativas se encuentran: la divulgación de los resultados, la administración del proyecto y la formulación de los reportes técnicos y financieros.

### **Actividades Científicas**

### Simulaciones para la optimización del diseño.

En el caso de este proyecto, la investigación se desarrollará en base a la optimización del diseño y fabricación de dispositivos MEMS basados en estructuras de voladizo, para su aplicación en la detección de entes patógenos. Se considerarán dos tipos de modos de operación (Figura 3): 1) en el modo estático, el cambio en la frecuencia de oscilación de la estructura, provocado por el cambio de estrés sobre la estructura, está basado en reacciones moleculares que suceden en la superficie del voladizo, 2) en el modo dinámico, la estructura del voladizo cambia la frecuencia natural de oscilación, debido a la adhesión de masa en la estructura del voladizo. Para las simulaciones se utilizará el programa de Python que cuenta con una librería de Métodos de Elementos Finitos, así como algoritmos Genéticos.

Las simulaciones eléctricas, también determinarán los componentes para la amplificación de la señal, y la caracterización de ésta.

### Fabricación de las voladizas.

La literatura sugiere que el dispositivo puede funcionar sin la necesidad de una capa de material piezoeléctrico. Si la simulación predice esta avenida, se procederá a la fabricación de las voladizas sin la capa de material piezoeléctrico como prioridad. De no tener la certeza de adquirir un resultado favorable en la simulación sin la capa de piezoeléctrico, se procederá a incluir dicha capa.

Para la fabricación de las voladizas se comienza con el crecimiento de películas de UNCD y/o N-UNCD sobre obleas de Si de 10 cm de diámetro con una capa de 1  $\mu\text{m}$  de SiO<sub>2</sub>. La diferencia entre UNCD y N-UNCD es que este último es conductor eléctrico, basado en átomos de Nitrógeno insertados en los bordes de grano, proveyendo electrones para conducción eléctrica lo que puede influenciar el rendimiento del dispositivo MEMS.

La integración de los procesos de crecimiento de películas de UNCD ó N-UNCD con fotolitografía y proceso llamado reactive-ion-etching (RIE) descrito en la Fig. 4 permitirán fabricar los dispositivo MEMS para bio-sensores. Primero se determina el patrón 2D de las voladizas utilizando un material foto resistivo. El siguiente proceso consiste en eliminar el material expuesto con un plasma de oxígeno hasta llegar a la capa de SiO<sub>2</sub>. Luego se somete la oblea a una reacción selectiva con ácido fluorhídrico (HF) para atacar químicamente la película de SiO<sub>2</sub> debajo de la película de UNCD o N-UNCD, lo cual resulta en la formación del voladizo mecánicamente libre para moverse (Figuras 4 (e), 4 (f) y 4 (g)).

### Evaluación de Funcionamiento de las voladizas

Una vez se obtiene las obleas con las voladizas se procede a separar los dispositivos y realizar sus conexiones. Se procede a conectar el sistema a la electrónica necesaria para la captura de la señal. Se utilizará un foto-laser para determinar las vibraciones naturales de las voladizas, así como un shaker para medir la sensibilidad del dispositivo. Se adquirirá la data y se analizará para compararla con las simulaciones.

### Prueba de concepto

La metodología consiste en la aplicación de un patógeno atenuado comercial, como *E. coli XL1-Blue*, sin capacidad infecciosa, que pueda ser detectado por el equipo. A diferencia de lo reportado en la literatura, donde generalmente se utiliza una capa de oro para inmovilizar la sustancia, en este proyecto estaríamos utilizando una capa de diamante policristalino (UNCD y N-UNCD) que por su naturaleza de bio-compatibilidad ofrece una ventaja comparativa en el desarrollo de biosensores.

### **Actividades Administrativas**

#### Compra de equipo e insumos.

Se comprarán insumos y equipo de acuerdo con las necesidades establecidas en la propuesta que incluye, obleas, reactivos químicos, instrumentos de manipulación, cristalería, equipo de mediciones eléctricas de alta sensibilidad, equipo de vibraciones entre otros.

#### Contratación de asistente de laboratorio.

Se contratará un estudiante como asistente de laboratorio. Esta persona debe estar dispuesta a continuar sus estudios de postgrado.

#### Elaboración de los reportes técnicos y financieros

Se elaborarán reportes técnicos y financieros de acuerdo con las especificaciones y requisitos de SENACYT, al finalizar la primera y segunda etapa. También se elaborará el reporte final del proyecto de investigación.

#### Divulgación de los resultados del Proyecto:

Los resultados de este proyecto serán divulgados en artículos científicos en revistas indexadas en Scopus a la vez que en conferencias internacionales de impacto como Material Research Society Fall and Spring meetings. También se divulgarán los resultados en congresos nacionales como APANAC y ó el IESTEC de la UTP.

Productos de esta etapa:

1. Presentación en la APANAC y/ó IESTEC (UTP) - Nacional
2. Presentación en una conferencia internacional de impacto.
3. Borrador avanzado de un artículo para someter a una revista indexada.
4. Solicitud(es) de patente(s) de ser requerido.
5. Borrador de la tesis de doctorado de Daniel Villarreal, becario de SENACYT.

#### **Actividades a desarrollar por etapa**

Para efectos del desarrollo de los estudios propuestos, este proyecto se ha dividido en dos etapas, tal como se describe a continuación:

#### **Actividades de la Etapa I (8 meses):**

##### 1. Contratación de asistente de laboratorio.

Se llevará a cabo la contratación de un asistente de laboratorio que haya terminado o este terminando sus estudios en el área de STEM. Esta persona debe ser entusiasta y poder trabajar en equipo y con deseos de seguir buscando oportunidades para seguir aprendiendo. Se dará prioridad a personas con poca representación en las áreas técnicas como lo son mujeres, indígenas y personas discapacitadas que cumplan el perfil requerido.

##### 2. Simulaciones para la optimización del diseño de las voladizas.

Se considerarán dos tipos de modos de operación (Figura 3): 1) en el modo estático, el cambio en la frecuencia de oscilación de la estructura, provocado por el cambio de estrés sobre la estructura, está basado en reacciones moleculares que suceden en la superficie del voladizo, 2) en el modo dinámico, la estructura del voladizo cambia la frecuencia natural de oscilación, debido a la adhesión de masa en la estructura del voladizo. Para las simulaciones se utilizará el programa de Python que cuenta con una librería de Métodos de Elementos Finitos, así como algoritmos Genéticos. Se instalará el software, y se procede a validar con diseños ya publicados.

##### 3. Crecimiento de películas de UNCD y N-UNCD en obleas de Si/SiO<sub>2</sub>

Se procede con el crecimiento de UNCD y N-UNCD sobre obleas de 100 mm de Si, cubiertas con una capa de 40 nm de SiO<sub>2</sub>. Esta etapa se realizará en el sistema de HFCVD y/o MPCVD, utilizando las condiciones óptimas de crecimiento, previamente determinadas.

##### 4. Caracterización estructural, morfológica, y de propiedades mecánicas de las voladizas de UNCD y N-UNCD

Se procede a realizar la caracterización de las obleas de UNCD y NUNCD utilizando las técnicas de 4 probe, Raman, XRD, EDS, AFM y SEM para determinar sus propiedades estructurales, morfológicas y conducción eléctrica. Esto incluye el pago por el uso del equipo de caracterización.

5. Compra insumos y equipos para mediciones

Se procederá a la compra de insumos de obleas y reactivos para los laboratorios de UTDallas y CIDESI para el desarrollo inicial de los dispositivos MEMS. Esto incluye, químicos, obleas, gases y equipo de laboratorio de uso único.

6. Entrenamiento en los equipos para la fabricación de dispositivos MEMS

Para la elaboración de las voladizas, se requiere conocimiento de los procesos de litografía descritos en la metodología. Los equipos para la realización de los procesos litográficos se encuentran en el cuarto limpio de la UTDallas. El primer paso es el entrenamiento de los equipos dedicados a la litografía para la fabricación de los MEMS que están disponible en la UTDallas que será llevado a cabo por el CO-IP1.

7. Capacitación del estudiante de Doctorado (CO-IP1) en CIDESI

La experticia de la fabricación de MEMS reside en CIDESI. Estudiante de doctorado, DV en CIDESI realizará una pasantía con los colaboradores de esta propuesta para la transferencia de conocimiento en la elaboración de los MEMS.

8. Acuerdo de Propiedad Intelectual

Se elabora un documento sobre la disposición de la propiedad intelectual entre las instituciones participantes: CEMCIT-AIP, UTDallas y CIDESI

9. Elaboración de informe técnico y financiero de la etapa I.

**Actividades de la Etapa II (16 meses):**

1. Compra de insumos y equipos

Se pedirán cotizaciones para los equipos de mediciones para las voladizas, y se extenderá la orden de compra de los equipos. Se procederá a la compra de insumos de laboratorios necesarios para la fabricación de MEMS. Se confecciona la lista de los insumos adquiridos, con su descripción y el lugar donde se utilizará (UTP, UTDallas o CIDESI) dependiendo de la tarea.

2. Metodología detallada para la fabricación de los dispositivos MEMS.)

La fabricación de los dispositivos MEMS con estructura en forma de voladizas es un proceso compuesto, por lo que la metodología se desarrollará en esta etapa Litografía de las Capas de SiO<sub>2</sub> por medio de grabado químico. Grabado de las Estructura de las Voladizas en la Superficie de UNCD con Iones de Oxígeno. Remoción de Silicio por medio de Grabado Profundo con Iones Reactivos. Liberación de las Estructuras de las Voladizas

3. Pasantía del asistente de laboratorio UTDallas

Una vez adquirida la experticia en la fabricación de MEMS en CIDESI, la fabricación del dispositivo se llevará a cabo en UTD. Por lo que, se requiere que el asistente de laboratorio se capacite en los procesos de crecimiento de películas de UNCD y N-UNCD y la fabricación de los MEMS. La capacitación tiene una duración de 6 meses. Sin embargo, para el éxito del programa es necesario que el asistente de laboratorio contribuya a la fabricación de los MEMS en UTDallas ya que los equipos no están disponibles en Panamá. Sin embargo, para la caracterización y la prueba de concepto, los equipos se montarán en la UTP, y el asistente estará a cargo de la recolección y análisis de los datos.

4. Fabricación de voladizas

La metodología desarrollada al principio de esta etapa se ejecuta para fabricar muestras de voladizas que se utilizaran para las pruebas de concepto.

5. Fabricación de dispositivos para medir las voladizas

Para que las mediciones sean autónomas, se requiere un dispositivo que amplifique las

señales y se pueda detectar. Se presentará el reporte sobre la acoplamiento y diseño de la etapa electrónica que se utiliza para medir el desempeño de las voladizas,

**6. Elaboración del informe intermedio de avance a los seis (6) meses de ejecución de la etapa I, según el formato provisto por LA SENACYT.**

**7. Caracterización morfológica y estructural de las voladizas**

La estructura y morfología del sustrato y las voladizas se evaluarán antes y después de la fabricación de las voladizas para diferenciar los cambios del sustrato. Del mismo modo se estará haciendo el estudio morfológico de las voladizas.

**8. Caracterizaciones eléctricas de las voladizas**

La frecuencia de resonancia natural de las voladizas debe ser estimada y comparada con los resultados de las simulaciones. La etapa electrónica del dispositivo permitirá conectar las voladizas a los microcontroladores para el análisis de la respuesta ante el movimiento del dispositivo. La aplicación del movimiento se realiza con los dispositivos adquiridos para la caracterización de MEMS

**9. Instalación de equipo de mediciones en la UTP:**

La transferencia de conocimiento incluye montar los equipos de caracterización eléctrica de las vigas voladizas en la UTP. En esta etapa se estará instalando el equipo en la UTP y capacitando personal para su uso. Este equipo no es especializado sólo para microvoladizas y se estará montando en uno de los laboratorios multi uso.

**10. Metodología para la prueba de concepto de la detección de patógenos**

La metodología consiste en la aplicación de un patógeno atenuado comercial, como *E. coli XL1-Blue*, sin capacidad infecciosa, que pueda ser detectado por el equipo. A diferencia de lo reportado en la literatura, donde generalmente se utiliza una capa de oro para inmovilizar la sustancia, en este proyecto estaríamos utilizando una capa de diamante policristalino (UNCD y N-UNCD) que por su naturaleza de bio-compatibilidad ofrece una ventaja comparativa en el desarrollo de biosensores.

**11. Implementación de la Prueba de Conceptos**

Se aplica una sustancia que simule la exposición a un patógeno específico y modifique la respuesta eléctrica del dispositivo para verificar el funcionamiento como detector

**12. Divulgación de Resultados:**

Los resultados obtenidos se presentarán en congresos nacionales e internacionales tales como el IESTEC de la UTP o APANAC nacionalmente, y el Material Research Society u otro congreso internacional de impacto. Se participará de al menos en un ciclo de conferencias en la UTP como parte de la transferencia de conocimiento a los estudiantes y personal.

**13. Elaboración de Borrador de tesis**

El estudiante de doctorado elaborará el borrador del capítulo de tesis correspondiente a esta investigación como parte de los requisitos de esta propuesta.

**14. Elaboración de un (1) Borrador avanzado de artículo científico para someter a una revista científica indexada**

Como parte de los requisitos de esta propuesta, se someterá un borrador de manuscrito a una revista científica indexada.

**15. Elaboración de informe técnico y financiero de la etapa II y el informe final.**

**9. RESULTADOS ESPERADOS:**

Como resultado de la ejecución de las actividades descritas en la sección anterior, se espera obtener los siguientes productos:

**Resultados de la Etapa I:**

- 1. Asistente de laboratorio contratado.** Se adjunta la copia firmada del contrato por Servicios Profesionales del asistente de laboratorio.
- 2. Reporte de las simulaciones para la optimización de las voladizas.** Se adjunta

- reporte detallado de las simulaciones realizadas, así como el diseño óptimo a realizar.
3. **Reporte de crecimiento de UNCD y N-UNCD en obleas de Si/SiO<sub>2</sub>:** Se adjunta el reporte del crecimiento de obleas con UNCD y N-UNCD en el laboratorio del Dr. Auciello de la UTDallas.
  4. **Reporte de la caracterización estructural y morfológica de las obleas de UNCD y N-UNCD:** Se adjunta el reporte, con gráficos y figuras de los resultados.
  5. **Equipo e insumos adquiridos.** Se adjunta la lista de los insumos para los laboratorios de UTDallas y CIDESI tales como químicos, obleas, gases, equipo de laboratorio de uso único entre otros.
  6. **Certificado de Daniel Villarreal en los equipos de litografía:** Se adjunta copia del certificado y comprobante de la estadía de DV en UTDallas.
  7. **Certificado de Pasantía y entrenamiento:** Se adjunta nota por el director de CIDESI haciendo constancia de las estadía y logros de la pasantía de Daniel Villarreal.
  8. **Acuerdo entre las organizaciones participantes de la disposición de la propiedad intelectual:** Se adjunta acuerdo firmando entre CEMCIT-AIP, UT Dallas y CIDESI de cómo se va a manejar la propiedad intelectual que resulte de esta investigación.
  9. **Informe técnico y financiero de la etapa I, entregado a la SENACYT.**

### **Resultados de la Etapa II:**

1. **Equipo de la etapa II, adquiridos:** Se adjunta las fotografías de parte de los equipos adquiridos en esta etapa, de igual manera en el informe financiero se acompaña.
2. **Reporte de la metodología detallada de la fabricación de MEMS.** Se adjunta reporte con los procedimientos detallados para la elaboración de los MEMS.
3. **Certificación de capacitación del asistente en el laboratorio de UTDallas:** Esta capacitación incluye el uso de equipo de deposición de UNCD y N-UNCD, equipo de caracterización como RAMAN, SEM, XRD entre otros.
4. **Reporte de la fabricación de voladizas:** El reporte incluye imágenes ópticas de las voladizas, y matriz de fabricación.
5. **Reporte de los resultados del circuito electrónico:** El reporte incluye el análisis de las necesidades del circuito, así como los resultados que se obtuvieron.
6. **Informe avance intermedio de la Etapa I, entregado a la SENACYT.**
7. **Reporte de las propiedades morfológicas y estructurales de las voladizas:** El reporte incluye imágenes de barrido electrónico, resultados de XRD y Raman.
8. **Reporte de la caracterización eléctrica de las voladizas:** Incluye el análisis de los cambios de frecuencia contra la masa depositada.
9. **Informe del sistema de mediciones para las voladizas en la UTP:** Incluye fotos del equipo en los laboratorios de la UTP, y constancia de personal capacitado.
10. **Reporte de la metodología para la prueba de concepto:** El reporte incluye el cronograma, lista de materiales, aprobación del laboratorio donde se va a realizar, resultados esperados.
11. **Reporte de los resultados la prueba de concepto:** El reporte incluye los resultados de la detección de un patógeno en voladizas del E-coli
12. **Divulgación de resultados realizados:** Fotodocumentación de las actividades relacionadas a la divulgación de los resultados, entre ellas la participación en concreto
13. **Borrador de tesis por parte del estudiante de doctorado entregado:** Se presentará un borrador del capítulo de la tesis doctoral relacionada a esta investigación
14. **Elaboración de al menos un (1) borrador avanzado de artículo científico para someter a una revista científica indexada.**
15. **Informe técnico y financiero de la etapa II e informe final, entregado a la SENACYT.**

### **10. ESTRATEGIA DE DIVULGACIÓN DEL PROYECTO:**

Los resultados obtenidos serán divulgados en congresos científicos a nivel nacional e internacional y se someterán las propuestas de artículos a revistas indexadas de circulación internacional para su aprobación. Algunos de los congresos internacionales donde podríamos participar son: Materials Research Society (MRS) Meeting, IEEE Sensors entre otros. Los asistentes de laboratorio presentarán sus experiencias en un ciclo de conferencia a pares nacionales y estudiantes al finalizar sus pasantías y cuyo evento se divulgue vía afiches y redes sociales para la transferencia de conocimientos. Se espera ofrecer un taller sobre la fabricación de MEMS de manera virtual con la

participación de CIDESI como parte de la transferencia de conocimientos. La tesis doctoral del joven Daniel Villarreal es también parte de la estrategia de divulgación.

## **11. CONSIDERACIONES ESPECIALES (SI APLICA)**

### **Protocolo de Bioética**

Se presenta carta de exoneración del protocolo de Bioética No de Nota CIBio-006-2022 con fecha del 17 de mayo de 2022.

### **Propiedad intelectual:**

La propiedad intelectual que se genere como resultado de esta propuesta será dividida proporcionalmente entre las 3 instituciones que participan en la propuesta. Se estará realizando un acuerdo en la primera etapa entre las partes donde las proporciones serán establecidas por los colaboradores de acuerdo a sus aportes, sin embargo, CEMCIT contará con al menos un 10% de participación por ser la institución ejecutora del proyecto.



### 13. PRESUPUESTO COMPLETO

Rubro	Descripción	Etapa I	Etapa II
Equipos, maquinarias e insumos científicos	Equipo, maquinarias	0	24,000
	Reactivos, Insumos Científicos	4,000	2,000
Pago de servicios para uso de equipo, análisis de muestras y el espacio no disponible para el desarrollo del proyecto	Pago por uso de equipo de caracterización, cuarto limpio, preparación de las voladizas, equipos de mediciones. UTDallas y CIDESI	12,000	18,000
Subcontratos de servicios o personal no disponible en el proyecto	Contrato de 1 asistente de laboratorio preferiblemente personal con miras a maestría o doctorado	12,000	16,800
Inscripciones o matrículas en eventos o cursos de carácter científico, tecnológico, de innovación o emprendimiento	Pago para inscripción a congresos internacionales	0	2,000.00
Gastos de transporte aéreo	Pago de pasajes aéreos para realizar pasantías, asistir a congresos, reuniones y recolección de datos entre las instituciones.	1,600.00	2,400.00
Publicaciones y/o difusión de actividades	Costo para publicación en revista indexada open Access		2,000.00
Viático parciales o totales, nacionales o para viajes al extranjero, según las tablas de viáticos incluidas en la Ley que aprueba el Presupuesto del Estado	Viáticos para realizar pasantías, movilización de los investigadores entre instituciones, asistencia a congresos.	3,300.00	5,300.00
Gastos de operación no disponibles y que sean imprescindibles para alcanzar los objetivos del proyecto	Imprevistos	4,000.00	3,228.00
Gastos administrativos	Gastos administrativos (7%)	2,692.5	5,679.5
<b>Subtotal</b>		<b>39,592.50</b>	<b>81,407.50</b>
<b>TOTAL FINANCIADO POR LA SENACYT</b>		<b>B/.120,000.00</b>	

#### Sustentación de rubros:

- Equipos, maquinarias, e insumos científicos**  
 Este monto se utilizará para la compra de insumos materiales para el laboratorio del Dr. Auciello en UTDallas, como la compra de nano semillas de diamante, obleas de silicio, gases precursores para el crecimiento de las películas de diamante, materiales, solventes. Los insumos necesarios para la elaboración de los MEMS en CIDESI para este proyecto, también están contemplados en este rubro. Se adquirirá equipo para la caracterización mecánica y electrónica de los dispositivos fabricados para la UTP.
- Pago de Servicios para uso de Equipo, Análisis de Muestras y Espacio no Disponible para el Desarrollo del Proyecto**  
 Utilización de equipo de caracterización tales como XRD, XPS, Raman, facilidades del cuarto limpio de UTD. Se estima en Promedio el costo de una hora por B/. 35 y uso semanal de aproximadamente 5 horas. Utilización de las facilidades de CIDESI y sub-contratistas para la elaboración y caracterización de las voladizas Contraparte/ Uso del equipo del Dr. Auciello en UTD para deposición de películas delgadas de UNCD y N-UNCD, subsidio de equipo de caracterización, capacitación de asistente de laboratorio en técnicas de caracterización y deposición de películas delgadas. CIDESI capacitación de estudiante de doctorado en técnicas de MEMS, y caracterización de dispositivos.
- Subcontratos de Servicios o Personal no Disponible:** se pagará un salario de

B./ .1,200.00 para un asistente de laboratorio por 24 meses o el equivalente.

- **Inscripciones o matrículas en eventos o cursos de carácter científico, académico, tecnológico, de innovación o emprendimiento:** como parte de las actividades de divulgación se pagará la inscripción de miembros del grupo en congresos como el MRS, IEEE Sensors. El costo cubierto puede estimarse el 60% para los investigadores y el 100% para el asistente de laboratorio.
- **Gastos de transporte aéreo:**
  - Viajes del Asistente de Laboratorio Etapa I y II: la participación del estudiante de laboratorio en pasantía en UTD es clave para el desarrollo del proyecto. Se incluyen los gastos para obtener la visa J1 y el pago del SEVIS (B./ 400.00). Se cubrirá el 100 % de los pasajes aéreo del estudiante para la participación en congresos y traslados desde Panamá y Dallas y/o pasantía en CIDESI en México.
  - Movilización de la Dra. Elida de Obaldía - Etapa I y II: la Dra. Elida de Obaldía como organizadora de los eventos en Panamá y Dallas (UTP y UTD) tiene dispuestos 2 viajes entre Panamá y Dallas durante la primera y segunda etapa.
  - Pasantía Daniel Villarreal Etapa I: Daniel Villarreal como como coinvestigador tiene una estancia para adquirir experiencia en la fabricación y caracterización de dispositivos MEMS en CIDESI en México.
  - Viajes para los colaboradores de CIDESI a participar en conferencia internacional para divulgación de resultados.
- **Viáticos parciales o totales, nacionales o para Viajes al Extranjero Etapa I y II:**
  - Pasantía Asistente de Laboratorio Etapa II: viáticos durante la capacitación en Dallas para la participación en la fabricación y caracterización de los dispositivos MEMS en el laboratorio del Dr. Auciello.
  - Participación en Congresos Nacionales e Internacionales: se cubrirá un porcentaje del costo de inscripción en congresos. Y hasta el 100% del costo para el asistente de laboratorio.
- **Publicación y/o difusión de actividades Etapa II:**

Se destina un monto total de B./ 2,000.00 para el sometimiento de un artículo científico en una revista científica indexada.
- **Gastos de operación no Disponibles:** en un proyecto de esta magnitud, se esperan gastos imprevistos. Se ha dejado un monto de 5.19% para gastos imprevistos que incluyen gastos de promoción y divulgación, seguimiento a la gestión de la propiedad intelectual entre otros o cualquiera de los rubros aceptable del proyecto.
- **Gastos administrativos (7%) Etapa I y II:** los gastos administrativos corresponden al 7% para proyectos de investigación. Esta cantidad es asignada por la UTP para el manejo de los fondos adjudicados a un investigador perteneciente a la UTP.

**Contraparte:** La colaboración con las organizaciones internacionales se mantiene con los siguientes aportes: CIDESI acceso a la infraestructura del cuarto limpio clase 1000 y 100 y al equipo técnico altamente capacitado para procesos de fabricación de micro dispositivos UTDallas acceso al equipo de deposición de NUNCD del Dr. Auciello, el cual fue adquirido por un monto de alrededor de \$350,000. Este equipo estará siendo utilizado un 70% en este proyecto. Los equipos de litografía, mediciones eléctricas, elaboración de dispositivos electrónicos de CIDESI y UTDallas serán utilizados para la elaboración de los MEMS. La transferencia de conocimiento es parte integral de la colaboración internacional. También se considera aporte de UTDallas, el acceso a equipo de caracterización multi uso como XRD, SEM, TEM, AFM, Raman y XPS a costo reducido como investigadores invitados

#### 14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. N. Prabhu, C. P. Gooneratne, and S. C. Mukhopadhyay, “Development of MEMS Sensor for Detection of Creatinine Using MIP Based Approach - A Tutorial Paper,” *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 20, pp. 22170–22181, 2021, doi: 10.1109/JSEN.2021.3077060.
- [2] M. Alvarez and L. M. Lechuga, “Microcantilever-based platforms as biosensing tools,” *Analyst*, vol. 135, no. 5, pp. 827–836, 2010, doi: 10.1039/b908503n.
- [3] Z. Fu, Y. Lu, and J. J. Lai, “Recent Advances in Biosensors for Nucleic Acid and Exosome Detection,” pp. 86–98, 2019.
- [4] A. Ahmed, J. V. Rushworth, N. A. Hirst, and P. A. Millner, “Biosensors for whole-cell bacterial detection,” *Clin. Microbiol. Rev.*, vol. 27, no. 3, pp. 631–646, 2014, doi: 10.1128/CMR.00120-13.
- [5] A. Nisar, N. Afzulpurkar, B. Mahaisavariya, and A. Tuantranont, “MEMS-based micropumps in drug delivery and biomedical applications,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 130, no. 2, pp. 917–942, 2008, doi: 10.1016/j.snb.2007.10.064.
- [6] Kurmendra and R. Kumar, “MEMS based cantilever biosensors for cancer detection using potential bio-markers present in VOCs: a survey,” *Microsyst. Technol.*, vol. 25, no. 9, pp. 3253–3267, 2019, doi: 10.1007/s00542-019-04326-1.
- [7] R. Cordero-salmer, M. Lopretti-correa, and J. R. Vega-baudrit, “Clinical Pathogens,” pp. 1–26.
- [8] O. Auciello et al., “Are Diamond MEMS Best Friends?,” *IEEE Microw. Mag.*, no. December, pp. 61–75, 2007.
- [9] M. N. Gardos, “Advantages and Limitations of Silicon as a Bearing Material for MEMS Applications BT - Tribology Issues and Opportunities in MEMS,” 1998, pp. 341–365.
- [10] A. You, M. A. Y. Be, and I. In, “Piezoelectric / ultrananocrystalline diamond heterostructures for high-performance multifunctional micro / nanoelectromechanical systems,” vol. 134101, no. 2007, pp. 1–4, 2021, doi: 10.1063/1.2679209.
- [11] S. Siddiqui et al., “A quantitative study of detection mechanism of a label-free impedance biosensor using ultrananocrystalline diamond microelectrode array,” *Biosens. Bioelectron.*, vol. 35, no. 1, pp. 284–290, 2012, doi: 10.1016/j.bios.2012.03.001.
- [12] I. Clausen, S. T. Moe, and A. Vogl, “Design and processing of a cost-effective piezoresistive MEMS cantilever sensor for medical and biomedical use,” *J. Micromechanics Microengineering*, vol. 22, no. 7, 2012, doi: 10.1088/0960-1317/22/7/074008.
- [13] S. Srinivasan, J. Hiller, B. Kabius, and O. Auciello, “Piezoelectric/ultrananocrystalline diamond heterostructures for high-performance multifunctional micro/nanoelectromechanical systems,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 90, no. 13, pp. 1–4, 2007, doi: 10.1063/1.2679209.
- [14] H. Mi and H. Yuan, “On the integration of ultrananocrystalline diamond ( UNCD ) with CMOS chip,” vol. 035121, no. March, 2017, doi: 10.1063/1.4979480.
- [15] P. Tirado, J. Alcantar, E. d. Obaldía, R. García, and O. Auciello, “Effect of the Gas Chemistry, Total Pressure, and Microwave Power on the Grain Size and Growth Rate of Polycrystalline Diamond Films Grown by Microwave Plasma Chemical Vapor Deposition Technique,” in 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), 2019, pp. 85–91, doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00024.
- [16] J. J. Alcantar-Peña et al., “Polycrystalline diamond films with tailored micro/nanostructure/doping for new large area film-based diamond electronics,” *Diam. Relat. Mater.*, vol. 91, pp. 261–271, 2019, doi: 10.1016/j.diamond.2018.11.028.
- [17] D. Villarreal et al., “Effect of nitrogen flow on the growth of nitrogen ultrananocrystalline diamond (N-UNCD) films on Si/SiO<sub>2</sub>/HfO<sub>2</sub> substrate,” *Proc. - 2019 7th Int. Eng. Sci. Technol. Conf. IESTEC 2019*, pp. 78–84, 2019, doi: 10.1109/IESTEC46403.2019.00023.
- [18] E. I. de Obaldía et al., “Study of atomic hydrogen concentration in grain boundaries of polycrystalline diamond thin films,” *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 9, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/app11093990.
- [19] J. J. Alcantar-Peña et al., “Fundamentals towards large area synthesis of multifunctional Ultrananocrystalline diamond films via large area hot filament chemical vapor deposition bias enhanced nucleation/bias enhanced growth for fabrication of broad range of multifunctional devices,” *Diam. Relat. Mater.*, vol. 78, 2017, doi: 10.1016/j.diamond.2017.07.004.

- [20] B. S. Wenli Zhan, “Diamond mems biosensors: development and applicatons,” no. August, 2015.
- [21] S. A. Skoog, G. Kumar, J. Zheng, A. V. Sumant, P. L. Goering, and R. J. Narayan, “Biological evaluation of ultrananocrystalline and nanocrystalline diamond coatings,” *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 27, no. 12, 2016, doi: 10.1007/s10856-016-5798-y.
- [22] S. Faegh, N. Jalili, and S. Sridhar, “A self-sensing piezoelectric microcantilever biosensor for detection of ultrasmall adsorbed masses: Theory and experiments,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 13, no. 5, pp. 6089–6108, 2013, doi: 10.3390/s130506089.
- [23] M. Katta and R. Sandanalakshmi, “Simultaneous tropical disease identification with PZT-5H piezoelectric material including molecular mass biosensor microcantilever collection,” *Sens. Bio-Sensing Res.*, vol. 32, no. March, p. 100413, 2021, doi: 10.1016/j.sbsr.2021.100413.
- [24] I. R. C. Urbiola, R. S. Fraga, I. M. J. A. Leon, G. J. Ponce, and H. L. D. Velarde, “Statistical Analysis of Thermal Treatment Effect of SMD Ni - RTD Batch Sensors and Its Direct Application Without Packaging for a Contact Thermometer,” *J. Electron. Mater.*, vol. 51, no. 4, pp. 1481–1489, 2022, doi: 10.1007/s11664-022-09440-x.
- [25] M. Camacho-lópez, M. Camacho-lópez, and J. J. Alcantar-peña, “Design and Fabrication of a low-cost fluorescent- based hydrocarbon detector,” no. Ropec, 2019.
- [26] M. H. Nicolas-Chanoine, X. Bertrand, and J. Y. Madec, “*Escherichia coli* st131, an intriguing clonal group,” *Clin. Microbiol. Rev.*, vol. 27, no. 3, pp. 543–574, 2014, doi: 10.1128/CMR.00125-13.
- [27] P. Bajaj, N. S. Singh, and J. S. Viridi, “*Escherichia coli*  $\beta$ -lactamases: What really matters,” *Front. Microbiol.*, vol. 7, no. MAR, pp. 1–14, 2016, doi: 10.3389/fmicb.2016.00417.
- [28] R. de P. SENACYT, “Política Nacional de Ciencias, Tecnología e Innovación Panamá 2040 y Plan Nacional Estratégico de Ciencias, Tecnología e Innovación (PENCIYT) 2019-2024 ‘Hacia la Transformación de Panamá,’” no. 28936, pp. 2019–2024, 2020, [Online]. Available: <https://www.senacyt.gob.pa/wp-content/uploads/2020/12/15-PENCIYT2019-2024.pdf>.

**FUNDAMENTO DE DERECHO:** Resolución de Junta Directiva de la SENACYT No. 01 de 13 de enero de 2022.