

**PROYECTO MULTI E INTERDISCIPLINARIO PIMI-15-08**  
**"Electrodos de grafeno para celdas de combustible microbianas"**

En la ciudad de Quito D.M., a los veintinueve días del mes de mayo del año dos mil veinte, comparecen a la celebración de la presente Acta de Finalización del Proyecto Multi e Interdisciplinario **PIMI-15-08 "Electrodos de grafeno para celdas de combustible microbianas"**, por una parte, la **Dra. Alexandra Patricia Alvarado Cevallos** en calidad de **Vicerrectora de Investigación, Innovación y Vinculación** de la Escuela Politécnica Nacional, y por otra el **Dr. Leonardo Basile Carrasco** en calidad de **Director del Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-15-08**, al tenor de lo siguiente:

**1. ANTECEDENTES:**

- a) El 4 de mayo de 2015, el Consejo de Investigación y Proyección Social mediante Resolución 22, aprueba el Cronograma de la Convocatoria para la presentación de Proyectos de Investigación Internos, Semilla, Junior y Multi e Interdisciplinarios 2015.
- b) El 21 de septiembre de 2015, al amparo de lo dispuesto por Consejo de Investigación y Proyección Social, mediante Resolución 53, se aprobaron los proyectos de la Convocatoria 2015, entre ellos el proyecto Multi e Interdisciplinario denominado: "*Electrodos de grafeno para celdas de combustible microbianas*", presentado por el Dr. Leonardo Basile.
- c) Mediante Memorando EPN-VIPS-2016-0593-M del 31 de mayo de 2016, el Vicerrectorado de Investigación y Proyección Social da a conocer a los directores de los proyectos Multi e Interdisciplinarios de la convocatoria 2015, que se considerará como fecha oficial de inicio de los proyectos el 1 de junio de 2016.

**2. DATOS GENERALES DEL PROYECTO:**

<b>Código de Proyecto</b>	<i>PIMI-15-08</i>
<b>Nombre del Proyecto</b>	<i>Electrodos de grafeno para celdas de combustible microbianas</i>
<b>Director del Proyecto</b>	<i>BASILE CARRASCO LEONARDO ALBERTO</i>
<b>Colaborador del Proyecto</b>	<i>OSORIO CALVOPIÑA HENRRY MARCELO</i>
<b>Colaborador externo</b>	<i>IDROBO TAPIA JUAN CARLOS</i>
<b>Departamento</b>	<i>Física (DFIS)</i>
<b>Líneas de Investigación</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Nanoestructuras</i></li><li>• <i>Energía</i></li></ul>
<b>Objetivo</b>	<i>Fabricar, caracterizar y acoplar ánodos de grafeno a celdas de combustible microbianas para mejorar su eficiencia de conversión energética</i>
<b>Duración del Proyecto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <i>Inicio: 1 de junio del 2016</i></li><li>• <i>Fin planificado: 1 de junio del 2019</i></li><li>• <i>Prórroga: hasta el 31 de diciembre de 2019</i></li><li>• <i>Duración total: 43 meses de ejecución</i></li></ul>
<b>Entrega del Informe Final</b>	<i>31 de marzo del 2020</i>
<b>Presupuesto asignado</b>	<i>\$ 200.000,00 USD (doscientos mil dólares americanos, con 00/100)</i>
<b>Presupuesto ejecutado</b>	<i>\$ 193.131,90 USD (ciento noventa y tres mil ciento treinta y un dólares americanos, con 90/100)</i>



### 3. INFORME FINAL:

Mediante Memorando Nro. EPN-PIMI-15-08-2020-0004-M del 31 de marzo de 2020 el Dr. Leonardo Basile, Director del Proyecto PIMI-15-08, presenta el Informe Final del proyecto, mismo que es revisado por la Dirección de Investigación.

La Dirección de Investigación realizó las observaciones del Informe Final y las comunicó al Director del Proyecto mediante Memorando Nro. EPN-DI-2020-0285-M.

Con Memorando Nro. EPN-PIMI-15-08-2020-0007-M entregado el 20 de mayo del 2020, el Director del Proyecto presenta la información pendiente. El informe final se anexa y forma parte integrante del Acta de Finalización, cuyas conclusiones y productos generados son:

#### CONCLUSIONES:

- En este proyecto se desarrolló una metodología para fabricar materiales porosos de grafeno con aplicaciones ambientales. El alcance fue desarrollar un concepto y una metodología de síntesis y probar los resultados mediante la fabricación de dispositivos para el efecto, a nivel de laboratorio. Subsecuentes trabajos, y con la experiencia ganada podrían generar prototipos a nivel industrial o comercial. Fundamentalmente el proyecto desarrolló metodologías para sintetizar estructuras tridimensionales de grafeno.
- En efecto, desde el punto de vista de la síntesis del material, se desarrolló un método de síntesis, ambientalmente amigable, usando métodos electroquímicos, se hizo más eficiente el método variando los parámetros del setup electroquímico y se probaron dos tipos de electrolitos, ácido sulfúrico y sulfato de amonio. Ambos producen similares resultados, aunque con sulfato de amonio se pueden obtener mayores concentraciones. Además, el sulfato de amonio no es una sustancia sujeta a restricciones en su comercialización y por tanto de fácil acceso. Finalmente, las tintas producidas del proceso electroquímico se estabilizaron en mezclas de agua y etanol y agua, obteniendo control en la concentración y estabilidad de las mismas.
- Para fabricar los electrodos o ánodos de grafeno, la tinta de grafeno fue colocada en un digestor obteniéndose un material poroso. Este material fue caracterizado usando técnicas estándar como son AFM, UV-VIS, espectroscopía Raman y mediciones eléctricas confirmando su conductividad eléctrica. Los resultados obtenidos están de acuerdo a resultados reportados en la literatura mediante otros procesos de síntesis, indicando que el material sintetizado tiene excelentes propiedades. Para mejorar la estabilidad de las soluciones se prepararon varias mezclas de agua y etanol, obteniéndose que una mezcla de 60 % agua 40 % etanol produce soluciones más estables, donde no se observa agregación de las láminas de grafito por varios días.
- En la fabricación de electrodos se usaron dos técnicas, una para soluciones acuosas sin contenido de agua y otra para mezclas de agua y etano. Para las soluciones acuosas se usó un proceso de congelamiento y liofilización. En este proceso, una vez congelada la muestra, el hielo formado se sublima y deja una estructura porosa de cadenas de grafeno. Este proceso es importante investigarlo porque es un proceso industrial y que permitiría escalar la fabricación. La desventaja es el uso solo de agua en la solución. Para fabricar los electrodos con soluciones de agua y etanol se implementó un proceso solvotermal con éxito. En cuanto al acople a las celdas de medición se utilizaron técnicas sencillas de fabricación reproducibles. Los mejores electrodos fueron fabricados mediante la aplicación de presión del material contra una placa de grafito obteniéndose un contacto robusto entre ambos materiales. Esto permite, que los electrodos sean apropiadamente caracterizados y resistan las pruebas electroquímicas.

- Se realizaron tres tipos de mediciones electroquímicas, voltametría, carga y descarga galvanostática e impedancia compleja. Las mediciones fueron realizadas con instrumentos comprados con el proyecto y corresponden a la caracterización más delicada y significativa del proyecto porque determinan el desempeño de los electrodos fabricados. Además, se hicieron mediciones de electroabsorción mediante una celda fabricada para el efecto, dentro de un proyecto de titulación. Los resultados muestran que el desempeño de los electrodos fabricados es comparable a la de electrodos similares fabricados con otras técnicas más laboriosas o incluso a través de metodologías más elaboradas.
- En resumen, mediante este proyecto se lograron establecer metodologías para:
  1. Sintetizar soluciones de grafeno estables y con excelentes propiedades eléctricas
  2. Fabricar un material de alta porosidad con las tintas de grafeno.
  3. Fabricación de electrodos y su caracterización.
  4. Medición de la eficiencia de celdas mediante procesos de electroabsorción.

A manera de conclusión general el Proyecto PIMI 15-08 ha permitido establecer una línea de investigación, con el desarrollo de metodologías para fabricar estructuras tridimensionales porosas de grafeno. Estas estructuras, a su vez, son el andamiaje sobre el cual varias aplicaciones ambientales y energéticas son potencialmente posibles, algunas de las cuales están siendo exploradas activamente a través de proyectos de titulación e investigación.

#### PRODUCTOS:

- Artículo publicado: "*Polymerization of Acetonitrile via a Hydrogen Transfer Reaction from CH<sub>3</sub> to CN under Extreme Conditions*"; Dr. Haiyan Zheng, Dr. Kuo Li, Dr. George D. Cody, Dr. Christopher A. Tulk, Dr. Xiao Dong, Dr. Guoying Gao, Jamie J. Molaison, Dr. Zhenxian Liu, Dr. Mikhail Feygenson, Dr. Wenge Yang, Dr. Iliia N. Ivanov, Leonardo Basile, Dr. Juan Carlos Idrobo, Dr. Malcolm Guthrie, Dr. Ho-kwang Mao; *Angewandte Chemie - International Edition* (Scopus Q1); ISSN: 14337851, 15213773; DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.201606198>, octubre 2016.
- Artículo publicado: "*Isoelectronic Tungsten Doping in Monolayer MoSe<sub>2</sub> for Carrier Type Modulation*"; Xufan Li, Ming Wei Lin, Leonardo Basile, Saban M. Hus, Alexander A. Puztzyk, Jaekwang Lee, Yen-Chien Kuo, Lo Yueh Chang, Kai Wang, Juan C. Idrobo, An Ping Li, Chia Hao Chen, Christopher M. Rouleau, David B. Geohegan, Kai Xiao; *Advanced Materials* (Scopus Q1); ISSN: 09359648; DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.201601991>; septiembre 2016.
- Conferencia: "*Grafeno Líquido: Simples aplicaciones medioambientales*"; Leonardo Basile; I Congreso Internacional de Agroindustria, Ciencia y Tecnología de Alimentos; Manta, Ecuador; noviembre 2017.
- Conferencia: "*Molecular Electronic Devices Base on Monomolecular Films*"; Osorio Henry; Nanoscience Summer School @ Yachay 2019 International Edition; Puerto Ayora, Ecuador; mayo 2017.
- Conferencia: "*Imaging and Spectroscopy of Graphene Heterostructures*"; Leonardo Basile; Nanoscience Summer School @ Yachay 2019 International Edition; Puerto Ayora, Ecuador; mayo 2019.
- Conferencia: "*Three dimensional graphene electrodes for water desalination by capacitive deionization*"; Leonardo Basile; International Congress of Nanoscience and Nanotechnology; Quito, Ecuador; noviembre 2019.



- Conferencia: "*Molecular Electronic Devices Base on Monomolecular Films*"; Henry Osorio; International Congress of Nanoscience and Nanotechnology; Quito, Ecuador; noviembre 2019.
- Conferencia: "*Electrodos de grafeno 3D para sensores de presión y deionización capacitiva*"; Leonardo Basile; I Congreso Internacional de Agroindustria, Ciencia y Tecnología de Alimentos; Quito, Ecuador; julio 2019.
- Póster: "*Synthesis of High Quality Graphene Multilayers By Electrochemical Exfoliation Using Pulse-Width-Modulation*"; Ronny de la Bastida, Leonardo Basile; International Congress of Nanoscience and Nanotechnology; Quito, Ecuador; noviembre 2019.
- Póster: "*Influence of nanosheet thickness on the electrical properties of Graphene films*"; Jimmy Narváez, Ronny de la Bastida, Henry Osorio; International Congress of Nanoscience and Nanotechnology; Quito, Ecuador; noviembre 2019.
- Proyecto de titulación de Ingeniería Civil y Ambiental: "*Estudio de electrodos modificados con grafeno y nanopartículas de oro para la detección de arsénico en agua*"; Cárdenas Fonseca Carlos Eduardo, Utreras Logacho Rolando Tomás; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19467>; junio 2018.
- Proyecto de titulación de Física: "*Obtención de grafeno monodisperso mediante exfoliación electroquímica y centrifugación en cascada y su uso para la fabricación de películas delgadas*"; Narváez Ordóñez Jimmy Sebastián; URL: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20540>; noviembre 2019.
- Seminario de difusión de resultados a la comunidad politécnica: "*Microscopía electrónica de barrido y transmisión*"; Leonardo Basile, Escuela Politécnica Nacional, febrero 2019.
- Planteamiento de nuevas investigaciones: "*Desarrollo de adsorbentes de grafeno hidroxilado para remoción de flúor en agua*" y "*Desarrollo de compuestos de grafeno 3D y nitruro de carbono*"; se presenta el alcance detallado de estos proyectos de investigación.
- Taller: "*I Taller: Técnicas de Caracterización de Nanoestructuras*"; Henry Osorio; Escuela Politécnica Nacional, febrero 2019.
- Taller: "*II Taller Teórico Experimental: Técnicas de Caracterización de Nanoestructuras*"; Henry Osorio; Escuela Politécnica Nacional, marzo 2020.

#### 4. LIQUIDACIÓN ECONÓMICA:

El monto asignado al Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-15-08 fue de \$ 200.000,00 USD (doscientos mil dólares americanos, con 00/100), y se ejecutaron \$ 193.131,90 USD (ciento noventa y tres mil ciento treinta y uno dólares americanos, con 90/100), conforme al detalle emitido por la Unidad de Gestión de Investigación y Proyección Social del Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Vinculación, que se adjunta a la presente Acta y forma parte integrante de la misma.

**5. FINALIZACIÓN:**

Con la presente Acta se declara finalizado y cerrado el Proyecto Multi e Interdisciplinario PIMI-15-08 "Electrodos de grafeno para celdas de combustible microbianas".

Para constancia de lo ejecutado y por estar de acuerdo con el contenido de la presente Acta, las partes libre y voluntariamente suscriben la misma, en tres ejemplares de igual contenido, tenor y valor legal.

Dado en la ciudad de Quito, D.M. a los veintinueve días del mes de mayo del año dos mil veinte.



Dra. Alexandra Alvarado  
Vicerrectora de Investigación,  
Innovación y Vinculación

cr/sp



Dr. Leonardo Basile  
Director del Proyecto  
PIMI-15-08

