



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada Investigación Pedagógica Innovación

DEPARTAMENTO(S):

- 1. Física**
- 2. Ingeniería Ambiental**

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

- 1. Nanoestructuras**
- 2. Energía**



1 Proyecto de Investigación

Título: Electrodos de grafeno para celdas de combustible microbianas

Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)

La energía es un problema multidisciplinario. En países en desarrollo, como el Ecuador, no solo los aspectos técnicos son importantes para abordar el problema de desarrollar fuentes de energía. Existe la dimensión social que demanda un progreso económico sustentable. Así, la prefiere y exige encontrar y desarrollar fuentes de energía limpia, compatibles con el medio ambiente. En este sentido el problema de desarrollar esas fuentes de energía se convierte en un problema multidisciplinario que engloba varias áreas de la ciencia y la tecnología, desde la física de electrones en materiales exóticos, pasando por la síntesis química, la microbiología y biología, hasta los materiales y la ingeniería ambiental.

En este proyecto planteamos estudiar la generación de electricidad en celdas de combustible microbianas con electrodos nanoestructurados de grafeno. Una celda de combustible microbiana es un dispositivo bio-electroquímico que usa bacterias como catalizadores para oxidar materia orgánica e inorgánica. Los electrones producidos por los microorganismos, en contacto con su sustrato, son transferidos al ánodo y fluyen al cátodo a través de un conductor que contiene la carga donde se genera electricidad. Un problema básico de estas celdas es la estructura del ánodo, donde se recolectan los electrones. En este proyecto fabricaremos ánodos de grafeno por sus excelentes cualidades físicas y biológicas. El grafeno es biocompatible, es un excelente conductor de la electricidad y tiene gran área superficial. Electrodos fabricados con este nuevo material, en principio, facilitarían una mejor eficiencia de conversión energética para celdas microbianas.

Palabras clave (4-6):

grafeno, celdas de combustibles microbianas, energía verde, nanotecnología



5.1 Objetivos

5.1.1 Objetivo General

Fabricar, caracterizar y acoplar ánodos de grafeno a celdas de combustible microbianas para mejorar su eficiencia de conversión energética.

5.1.2 Objetivos Específicos

1. Sintetizar grafeno para fabricar ánodos de celdas de combustible microbianas.
2. Caracterizar estructural y electrónicamente los ánodos de grafeno.
3. Acoplar los ánodos de grafeno a celdas de combustible microbianas.
4. Determinar la eficiencia energética de celdas de combustible microbianas con ánodos de grafeno.

5.2 Relevancia de esta propuesta de investigación y su relación con la(s) Línea(s) de investigación asociadas.

El Departamento Física tiene las líneas de investigación en nanoestructuras y en física aplicada que incluyen tópicos de síntesis y estudio de propiedades físicas de nanoestructuras y aplicaciones en energía.

Además este proyecto es una colaboración la Universidad Central del Ecuador que son los encargados de cultivar los microorganismos, preparar las membranas de deposición, y de fabricar las celdas de combustible microbianas. Es decir, este es un proyecto multidisciplinario que involucra procesos bioelectroquímicos, fabricación de nuevos materiales, estudios de propiedades electrónicas y conversión de energía para aplicaciones medio ambientales.

Por tanto, el proyecto que proponemos será de valor para investigadores con diferentes formaciones, estudiantes que pueden ser expuestos a varias técnicas experimentales, y para la institución al aumentar su producción científica.

Este proyecto involucra la participación del Departamento de Física en la fabricación y acople de ánodos de grafeno, Departamento de Ingeniería Ambiental de la EPN y el Departamento de Química de U. Central en la fabricación de celdas de combustible microbianas y los procesos biológicos para su funcionamiento. Además colaboraremos con la Universidad de los Andes, Colombia y el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, USA. en la síntesis y caracterización de grafeno.

5.3 Productos esperados

- | | |
|---|--------------------------|
| a. Publicaciones científicas (obligatorio); | X |
| b. Disertación a la Comunidad Politécnica; | X |
| c. Proyecto de Titulación; | X |
| d. Tesis de Grado (maestría o doctorado); | <input type="checkbox"/> |
| e. Aplicación tecnológica construida o implementada; | <input type="checkbox"/> |
| f. Patente presentada; | <input type="checkbox"/> |
| g. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación. | X |



5.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

El producto fundamental de este proyecto es la publicación de los resultados en revistas de alto impacto. El proyecto planteado es de interés para varios grupos de investigación por las diversas técnicas experimentales que tendremos que desarrollar para llevarlo a cabo.

Además, la fabricación de electrodos de grafeno es de aplicación, no solo para celdas de combustible, si no también en otras áreas como baterías, dispositivos nanoelectrónicos, celdas solares, sensores, etc. Parte de esta investigación formará parte de una tesis de maestría desarrollada en el Departamento de Ingeniería Ambiental.

Finalmente, integrar varios grupos de investigación dentro y fuera del país es de beneficio mutuo. A nivel nacional y, en particular en la EPN, las capacidades de laboratorios e instrumentación avanzada están en pleno desarrollo. Por tanto, colaborar con instituciones con mayor recorrido en investigación es esencial.



| | |
|---|---|
| 6 | Descripción, metodología y cronograma de trabajo |
| | <p>Descripción del Proyecto</p> <p>Como es ampliamente conocido las bacterias pueden producir combustibles como etanol, metano e hidrógeno desintegrando materia orgánica. Es menos conocido que las bacterias también pueden convertir materia orgánica en electricidad en dispositivos llamados celdas de combustible microbianas. Una celda de combustible microbiana (CCM) es una fuente de energía sostenible y limpia que convierte la energía química almacenada en desperdicios orgánicos en electricidad [1]. Estos dispositivos integran la bioremediación ambiental con la conversión de energía. Ciertamente, a diferencia de otras celdas de combustible que usan catalizadores tóxicos o costosos, las bacterias que activan una CCM pueden oxidar un rango diverso de combustibles “sucios” considerados de poco valor, tales como la materia orgánica en suelos y sedimentos [2]. Por esto estas celdas podrían ser muy útiles en zonas remotas y en regiones con redes eléctricas inadecuadas. Además, CCM han sido utilizadas en bio-remediación de ambientes contaminados por petróleo y otros contaminantes [2].</p> <p>Una CCM tradicional de dos cámaras tiene un ánodo y un cátodo separados de una membrana de intercambio protónico [3]. Cuando un compuesto orgánico está en contacto con el ánodo, los microorganismos activos electroquímicamente oxidan el sustrato y producen protones y electrones. Los electrones son transferidos al ánodo y a través del circuito externo acciona la carga externa y finalmente los electrones reducen el aceptor de electrones en el cátodo. Sin embargo, las CCM padecen de baja densidad de potencia debido a dos factores: la baja carga de bacterias en el ánodo y a la baja eficiencia de transferencia electrónica entre los microorganismos y el ánodo.[1-3]</p> <p>Por esto el desarrollo de nuevos materiales anódicos que puedan facilitar la formación de una bio -película de bacterias y mejoren la transferencia de carga es vital para notablemente mejorar la producción de potencia eléctrica de las CCM. Varias estrategias existen para este fin [4-9]. El material del electrodo debe ser un excelente conductor eléctrico para facilitar la transferencia electrónica. Además, un ánodo deseable debería ser biocompatible y de gran área superficial de modo que los microorganismos formen una bio película suficientemente densa en el ánodo.</p> <p>El grafeno es un material de gran potencial en numerosas aplicaciones por sus notables propiedades eléctricas y fisicoquímicas. Puede ser sintetizado con técnicas químicas simples y a temperatura ambiente y no es tóxico [10]. Ha sido ampliamente investigado como electrodo en baterías de litio, supercapacitores, biosensores, celdas fotovoltaicas. Además el grafeno tiene una gran áreas superficial lo que le hace adecuado como material para fabricar un electrodo y, al ser una red de átomos de carbono lo hace biocompatible. En este proyecto proponemos usar grafeno como ánodo en CCM y compararlo con otros electrodos para establecer y mejorar la eficiencia de conversión en estos dispositivos.</p> <p>Métodos</p> <p>Fabricación del grafeno</p> <p>Usaremos tres rutas de fabricación de síntesis para fabricar estas estructuras. La exfoliación mecánica y la exfoliación líquida. La exfoliación mecánica ha sido la ruta para producir materiales bidimensionales de alta calidad. Ésta consiste en usar cinta adhesiva para exfoliar capas de material, repetir el proceso hasta tener nanohojas del material requerido. Este método ha sido usado para producir grafeno y otra variedad de materiales bidimensionales. Las segunda ruta consiste en fabricar grafeno mediante cámaras de deposición adecuadas para el efecto. Este método permite una producción más uniforme del material y es altamente reproducible. El tercer método es la exfoliación líquida [10]. Esta consiste en preparar una solución con un solvente adecuado y como material a exfoliar se usa grafito en polvo, se procede a sonicar la solución. El grafeno en solución se extrae mediante centrifugación. Una vez extraído el grafeno se lo analiza con microscopía óptica, electrónica y raman para asegurar su calidad.</p> |



Fabricación del ánodo modificado con grafeno

Para la fabricación del ánodo se probarán diferente tipo de sustratos como barras y planchas de grafito, y planchas de carbón vítreo. En cualquier caso, sobre este sustrato se depositará una capa de grafeno por diferentes procesos como inmersión o dip coating. Posteriormente, los sustratos serán secados a 150°C por una hora para eliminar el exceso de agua residual.

También se utilizará un método de modificación in situ de grafito a grafeno. Para esto, los sustratos serán sumergidos en una solución 0.1 M de $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_2$ en presencia de un contra electrodo de platino. Sobre estos electrodos se aplicará una corriente eléctrica por medio de una fuente de 10 VDC durante un tiempo entre 10 – 20 minutos.

Fijación de los microorganismos sobre el ánodo

Los electrodos modificados se introducen en un cultivo del material durante un tiempo determinado para permitir la formación de una bio película.

Construcción de la celda

Se construirá una celda de dos compartimentos separados por una membrana de intercambio catiónico. Se utilizarán dos tipos de membranas de intercambio catiónico, una de Nafion y otra de Ultrex. El ánodo estará sumergido (junto al electrodo de referencia para el estudio de voltametría cíclica) en el material orgánico a oxidar.

En el otro compartimento se encontrará el cátodo, el cual consistirá en un electrodo de grafito o carbón vítreo recubierto con una solución catalizadora de platino.

Caracterización eléctrica de la celda de combustible

El ánodo modificado y recubierto con el biofilm será sumergido en una solución electrolítica y se lo utilizará como electrodo de trabajo en los estudios de voltametría cíclica de tres electrodos (referencia Ag/AgCl, contraelectrodo de platino) para estudiar la actividad del sistema ánodo/biofilm. Dicho comportamiento será comparado con los correspondientes ánodos no modificados.

De igual manera se realizarán estudios de voltametría cíclica de la celda de combustible utilizando como electrodo y contraelectrodo de trabajo el ánodo y el cátodo construidos, versus un electrodo de referencia de Ag/AgCl.

Medidas de espectroscopia de impedancia electroquímica, permitirán el estudio de la resistencia del ánodo en circuito abierto, de donde se podrá determinar la densidad de corriente y potencia del sistema.

1. Y.-C. Yong, X.-C. Dong, M.B. Chan-Park, H. Song, & P. Chen Macroporus and Monolithic Anode Based on Polyaniline Hybridized Three-Dimensional Graphene for High-Performance Microbial Fuel Cells, *ACS Nano* 6, 2394 (2012).
2. D.R. Lovley, Bug juice: harvesting electricity with microorganisms, *Nat. Rev. Microbio.* 4, 497 (2006).
3. D. Singh, D. Pratap, Y. Baranwal, B. Kumar and R.K. Chaudhary, Microbial fuel cells: a green technology for power generation, *Annal Bio. Res.* 3, 128 (2010)
4. B. Unnikrishnan, S. Palanisamy, S.-M. Chen A simple electrochemical approach to fabricate a glucose biosensor based on graphene-glucose oxidase biocomposite, *Biosen. and Bioelec.* 39, 70 (2013)
5. J. Liu, Y. Qiao, C.X. Guo, S. Lim, H. Song, & C. Li Graphene/carbon cloth anode for high performance mediators microbial fuel cells, *Bio. Tech* 114, 275 (2012).
6. H. Tsai, W. Hsu, Y. Huang Charanterization of Carbon Nanotube/Graphene on Carbon Cloth as an electrode for air-cathode microbial fuel cells, *J. Nano.* 686891 (2015)
7. J. Tang, S. Chen, Y. Yuan, X. Cai, S. Zhou, In situ formation of graphene layers on graphite surfaces for efficient anodes of microbial fuel cells, *Bio. Biose.*, accepted (2015).



6.2 Cronograma de trabajo anual: (Descripción)

- Para la elaboración del cronograma de ejecución del proyecto se sugiere considerar el tiempo para la adquisición de equipos, reactivos y materiales de laboratorio.

| Actividad | Primer Año | | | | | |
|-----------|------------------------------|-----|-----|-----|------|-------|
| | Porcentaje de avance por mes | | | | | |
| | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 |

TOTAL

| Actividad | Segundo Año 2 | | | | | |
|-----------|------------------------------|-----|-----|-----|------|-------|
| | Porcentaje de avance por mes | | | | | |
| | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 |

TOTAL



| | <p>8. X. Xie, G.Yu, N. Liu, Z. Bao, C. Criddle, Y. Cui Graphene-sponges as high-performance low-cost anodes for microbial fuel cells, <i>Env. Sic.</i> 5, 6862 (2012)</p> <p>9. H. Yuan and Z. He Graphene modified electrodes fro enhancing the performance of microbial fuel cells, <i>Nanoscale</i> 7, 7022 (2015)</p> <p>10. K. R. Paton et al. Scalable production of large quantities of defect free few layer graphene by shear exfoliation in liquids</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|--------------|------------|------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|---|---|---|---|--|--|------------------------|--|--|--|---|---|---|----------------------------|--|--|--|--|---|---|---------------------------|--|--|--|--|--|--|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--------------------------|--|--|--|--|--|--|---------------------------|--|--|--|--|--|--|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|-------------------|---|---|---|--|--|--|------------------------|---|---|---|---|---|---|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---------------------------|---|---|---|---|---|---|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|-----------------------|--|--|---|---|---|---|--------------------------|--|--|---|---|---|---|---------------------------|--|--|--|---|--|--|----------------------------|--|--|--|--|--|--|--------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|-------------------|--|--|--|--|--|--|--------------------------|---|---|---|--|--|--|------------------------------|---|---|---|--|--|--|-----------------------------|---|---|---|--|--|--|-----------------------------|---|---|---|--|--|--|-------------------------|---|---|---|---|--|--|----------------------------|---|---|---|---|--|--|-----------------------------|---|--|--|---|--|--|----------------------------|--|---|---|---|---|--|
| <p>6</p> | <p>6.2 Cronograma de trabajo anual: (Descripción)</p> <p>- Para la elaboración del cronograma de ejecución del proyecto se sugiere considerar el tiempo para la adquisición de equipos, reactivos y materiales de laboratorio.</p> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Año 1</th> <th style="text-align: center;">1-2</th> <th style="text-align: center;">3-4</th> <th style="text-align: center;">5-6</th> <th style="text-align: center;">7-8</th> <th style="text-align: center;">9-10</th> <th style="text-align: center;">11-12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Compra de equipos</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fabricación de grafeno</td><td></td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Caracterización de grafeno</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Fabricación de electrodos</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fijación de microorganismos</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Construcción de celda</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Caracterización de celda</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Congresos Internacionales</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Presentación de resultados</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Año 2</th> <th style="text-align: center;">1-2</th> <th style="text-align: center;">3-4</th> <th style="text-align: center;">5-6</th> <th style="text-align: center;">7-8</th> <th style="text-align: center;">9-10</th> <th style="text-align: center;">11-12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Compra de equipos</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fabricación de grafeno</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Caracterización de grafeno</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Fabricación de electrodos</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Fijación de microorganismos</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Construcción de celda</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Caracterización de celda</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td></tr> <tr><td>Congresos Internacionales</td><td></td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Presentación de resultados</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Año 3</th> <th style="text-align: center;">1-2</th> <th style="text-align: center;">3-4</th> <th style="text-align: center;">5-6</th> <th style="text-align: center;">7-8</th> <th style="text-align: center;">9-10</th> <th style="text-align: center;">11-12</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Compra de equipos</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fabricación de grafeno x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Caracterización de grafeno x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fabricación de electrodos x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Fijación de microorganismos</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Construcción de celda x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Caracterización de celda x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Congresos Internacionales x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td><td style="text-align: center;">x</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Presentación de resultados</td><td></td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td style="text-align: center;">x</td><td></td></tr> </tbody> </table> | Año 1 | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | Compra de equipos | x | x | x | x | | | Fabricación de grafeno | | | | x | x | x | Caracterización de grafeno | | | | | x | x | Fabricación de electrodos | | | | | | | Fijación de microorganismos | | | | | | | Construcción de celda | | | | | | | Caracterización de celda | | | | | | | Congresos Internacionales | | | | | | | Presentación de resultados | | | | | | | Año 2 | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | Compra de equipos | x | x | x | | | | Fabricación de grafeno | x | x | x | x | x | x | Caracterización de grafeno | x | x | x | x | x | x | Fabricación de electrodos | x | x | x | x | x | x | Fijación de microorganismos | x | x | x | x | x | x | Construcción de celda | | | x | x | x | x | Caracterización de celda | | | x | x | x | x | Congresos Internacionales | | | | x | | | Presentación de resultados | | | | | | | Año 3 | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | Compra de equipos | | | | | | | Fabricación de grafeno x | x | x | x | | | | Caracterización de grafeno x | x | x | x | | | | Fabricación de electrodos x | x | x | x | | | | Fijación de microorganismos | x | x | x | | | | Construcción de celda x | x | x | x | x | | | Caracterización de celda x | x | x | x | x | | | Congresos Internacionales x | x | | | x | | | Presentación de resultados | | x | x | x | x | |
| Año 1 | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Compra de equipos | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabricación de grafeno | | | | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de grafeno | | | | | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabricación de electrodos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fijación de microorganismos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción de celda | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de celda | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Congresos Internacionales | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presentación de resultados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 2 | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Compra de equipos | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabricación de grafeno | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de grafeno | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabricación de electrodos | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fijación de microorganismos | x | x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción de celda | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de celda | | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Congresos Internacionales | | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presentación de resultados | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Año 3 | 1-2 | 3-4 | 5-6 | 7-8 | 9-10 | 11-12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Compra de equipos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabricación de grafeno x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de grafeno x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fabricación de electrodos x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fijación de microorganismos | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Construcción de celda x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización de celda x | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Congresos Internacionales x | x | | | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Presentación de resultados | | x | x | x | x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>7</p> | <p>Fechas de inicio y fin</p> <p>1ero de febrero de 2016 y tendrá duración de 3 años.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



8 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

8.1 Infraestructura y equipos

El Departamento de Física cuenta con instrumentación básica en el laboratorio de películas delgadas donde existe espacio disponible para llevar adelante el proyecto. Existe también instrumentos para caracterizar ópticamente materiales y hay acceso al equipamiento de otras Universidades como la ESPE, la UPS y la U. Central de Quito. Adicionalmente contamos con la colaboración y asesoramiento de la Universidad de los Andes para desarrollar la técnicas de síntesis, caracterización y materiales bidimensionales, fabricación de dispositivos y medición de propiedades de transporte.

8.2 Breve justificación del equipo requerido

En este proyecto pretendemos adquirir equipamiento para sintetizar grafeno y transferirlo a sustratos adecuados para la fabricación de ánodos. Las técnicas e instrumentos a utilizarse son de aplicación general y serán aplicables en otros proyectos. Esta instrumentación es parte del proceso de consolidación de un laboratorio para síntesis, caracterización y fabricación de dispositivos nanoestructurados bidimensionales con múltiples aplicaciones, ya sean en energía, sensores, micro y nanoelectrónica, celdas solares, etc.

8.3 Fondos Adicionales

- Otros fondos de otros organismos (si los hubiere)