



## **EL DOCTORADO EN INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR: UN MODELO DE INTERDISCIPLINARIDAD.**

Wong, Sara (Universidad Simón Bolívar, Venezuela, swong@usb.ve)  
Passariello, Gianfranco (Universidad Simón Bolívar, Venezuela, gpass@usb.ve)  
Zerpa, Arminda (Universidad Simón Bolívar, Venezuela, azerpa@usb.ve)

### **Resumen**

El Doctorado en Ingeniería (DrIng) es otorgado por la Universidad Simón Bolívar en reconocimiento a la realización de trabajos originales que constituyan aportes significativos del conocimiento en el área de la Ingeniería y de las Ciencias Aplicadas. Este programa es un modelo de interdisciplinariedad entre las áreas de conocimiento abarcadas por las Ingenierías y está concebido como un sistema flexible, soportado por la estructura académica y los Grupos de Investigación y Desarrollo de la USB. El ingreso de un estudiante al programa se realiza con la aprobación de la Coordinación Académica afín al área de especialidad y por un Comité Doctoral, integrado por profesores con estudios de doctorado y activos en investigación y desarrollo. Las coordinaciones de postgrado afines, involucradas en el DrIng son nueve: Estadística Computacional, Ingeniería Biomédica, Ingeniería de Materiales, Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Geofísica, Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica. El programa DrIng es un diseño curricular individualizado, que pretende satisfacer las necesidades particulares de cada Tesis Doctoral y es interdisciplinario ya que permite la participación de investigadores de diferentes áreas del conocimiento. En este trabajo se describen los aspectos curriculares, las líneas de investigación y las características interdisciplinarias del DrIng.

Palabras clave: Doctorado, Ingeniería, Interdisciplinaridad

### **Abstract**

The *Doctorado en Ingeniería* (DrIng) degree is conferred by the Universidad Simón Bolívar primarily in recognition of competence in the subject field and the ability to investigate engineering problems independently, resulting in a new contribution to knowledge in the field of study. This program is an interdisciplinary model between engineering and applied sciences. It is conceived as a flexible system supported by the academic structure and the research groups of the University Simon Bolivar. The admission to the program is done by the Academic Coordination related to the research topic and the background of the candidate, and the Doctoral Committee, who are active researchers with earned Ph.D. degree. The Academic Coordinations are: Biomedical Engineering, Chemistry Engineering, Electrical Engineering, Electronics Engineering, Geophysics Engineering, Materials Engineering, Mechanical Engineering, Statistical Science, and System Engineering. The DrIng program is tailored to meet the needs of an individual and it is an interdisciplinary program that allows participation of researches of diverse areas of knowledge. Curricular aspects, research lines and interdisciplinary examples of this program are presented in this work.

Keywords: Ph.D Program, engineering, interdisciplinary



## 1.- INTRODUCCIÓN

El Doctorado en Ingeniería (DrIng) tiene como objetivo principal la formación de profesionales calificados para realizar, planificar, establecer, dirigir y supervisar, líneas de investigación y desarrollo en áreas de Ingenierías y Ciencias Aplicadas.

Con el inicio del Doctorado en Ingeniería en 1997 se logró un balance en la formación académica, en las áreas de Ingeniería y Tecnología, que ofrece la Universidad Simón Bolívar, desde la formación de Técnicos Superiores, hasta su más alto nivel académico. Este programa es un modelo de interdisciplinariedad entre las áreas de conocimiento abarcadas por las Ingenierías y está concebido como un sistema flexible, soportado por la estructura académica y los Grupos de Investigación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar.

El ingreso de un estudiante al programa se realiza con la aprobación de la Coordinación Académica afín al área de especialidad y por un Comité Doctoral, integrado por profesores con estudios de doctorado y activos en investigación y desarrollo. El Comité Doctoral está compuesto por tres miembros mínimo, con título de Ph.D. o su equivalente, con actividades recientes en investigación y desarrollo. Los miembros pueden ser de diferentes universidades, por lo menos un miembro debe ser profesor tiempo completo en la USB. Las coordinaciones de postgrado afines, involucradas en el programa del doctorado en ingeniería son nueve: Estadística Computacional, Ingeniería Biomédica, Ingeniería de Materiales, Ingeniería de Sistemas, Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería Geofísica, Ingeniería Química e Ingeniería Mecánica.

Este programa cuenta con el apoyo del Decanato de Investigación y Desarrollo[1], quien a través de los programas de apoyo a los distintos Grupos de Investigación facilitan el desarrollo de las líneas de investigación, a los ayudantes académicos y a los trabajos de investigación de los profesores de la universidad que desempeñan también roles de asesores y tutores.

Por otra parte, la Dirección de Relaciones Internacionales a través de los convenios suscritos con Instituciones Internacionales [2] permite el intercambio de estudiantes doctorales para la realización de actividades académicas conjuntas en universidades y laboratorios de alto reconocimiento internacional.

De igual manera FUNINDES [3] permite el desarrollo y financiamiento de proyectos de investigación y desarrollo vinculados directamente con las necesidades industriales del país y enmarcadas dentro de las líneas de investigación existentes en la Universidad Simón Bolívar. Este hecho mantiene al Doctorado actualizado con respecto a los requerimientos industriales, generando soluciones innovadoras y cónsonas con nuestra realidad tecnológica y económica.

El Fondo Nacional para Ciencia Investigación y Tecnología FONACIT [4] ha sido también un elemento clave en el desarrollo del programa, gracias a sus programas de financiamiento para la formación de talentos Alma Mater, Formación de Talentos y mas recientemente a través de la Misión Ciencia.

A continuación se describen los aspectos curriculares, se señalan algunas líneas de investigación y finalmente se muestra un ejemplo de la interdisciplinariedad del programa.

## 2.- ASPECTOS CURRICULARES

El Doctorado en Ingeniería está concebido como un programa individualizado. El Plan se organiza en función de la formación requerida por el estudiante para el desarrollo de sus Tesis Doctoral. Está conformado por tres componentes: Básico, Profundización e Investigación. Alrededor de estos componentes se agrupan asignaturas básicas, asignaturas de profundización, asignaturas afines o complementarias y actividades de investigación a través de Trabajos Dirigidos y Seminario, tal como se muestra en la tabla I.

Tabla I. Estructura del Plan de Estudios

Componentes	Estrategias Metodológicas	UC	Porcentaje
Área Básica	Asignaturas Básicas	12	14,29
Áreas de profundización	Asignaturas de Profundización	20	23,80
	Asignaturas de áreas afines	9	10,72
Áreas de Investigación	Seminarios de Investigación, I, II y III	9	10,72
	Trabajos Dirigidos	10	11,90
	Tesis Doctoral	24	28,57
	<b>Total de Unidades Créditos</b>	<b>84</b>	<b>100%</b>

El plan de estudios contempla la aprobación de un total de 60 unidades crédito en asignaturas, agrupadas en componentes Básico y de Profundización Seminarios de Investigación, Trabajos Dirigidos y 24 unidades crédito de la Tesis Doctoral.

**Componente Básico:** El componente Básico contempla las asignaturas consideradas fundamentales para el desarrollo de la investigación del estudiante, relacionadas con su Tesis Doctoral. Estas ayudarán a su formación profesional del estudiante en el área seleccionada. Este componente contempla doce (12) unidades crédito.

**Componente de Profundización:** El componente de Profundización contempla: asignaturas de profundización y asignaturas afines al área de investigación.

- las asignaturas de profundización están estrechamente vinculadas con el área de conocimiento del trabajo de investigación que realiza el estudiante. Este componente contempla veinte (20) unidades crédito.
- Las asignaturas afines son aquellas que complementan el área de conocimiento principal y promueven la formación interdisciplinaria del estudiante. Este componente contempla nueve (9) unidades crédito.

Es importante señalar que dada la flexibilidad en los planes de estudio de los estudiantes doctorales, las asignaturas básicas podrían ser afines o de profundización, dependiendo de cada uno de los casos.

**Seminarios de Investigación I, II y III:** comprenden actividades de aprendizaje asociadas a la investigación que realiza el estudiante y en las cuales éste tiene la oportunidad de exponer sus avances en el desarrollo de estas actividades, conocer distintos enfoques e intercambiar con sus pares del



doctorado y con los profesores vinculados con la línea de investigación seleccionada. Estos seminarios comprenden nueve (9) unidades crédito.

**Trabajos Dirigidos:** comprenden actividades de investigación dirigidas e individualizada y vinculadas con el desarrollo de la Tesis Doctoral del estudiante. Esta actividad se puede llevar a cabo en otros Centros de Investigación, nacionales o internacionales con los cuales la USB. De esta forma el estudiante complementa su formación con actividades de carácter práctico. Estos comprenden diez (10) unidades crédito.

**Tesis Doctoral:** La Tesis de Doctorado constituye un trabajo de investigación original que estudia, analiza y abarca un problema de ingeniería y cuyo resultado constituye un aporte significativo al acervo del conocimiento en alguna de las áreas (sistemas, electrónica, eléctrica, biomédica, química, mecánica, materiales, estadísticas) de la Ingeniería y en el que el estudiante demuestra su formación científica e independencia de criterio. La Tesis tiene un valor de veinticuatro (24) unidades crédito.

El avance en el proyecto de la Tesis Doctoral es elaborado en el marco de una línea de investigación específica, en la que con la ayuda de los asesores y del Tutor el estudiante es evaluado trimestralmente a través de un breve reporte y presentación en un seminario. Ambos son evaluados por el Comité Doctoral.

## 2.- LINEAS DE INVESTIGACION

Las líneas de investigación se encuentran sustentadas por los Grupos de Investigación y Desarrollo de la USB. En la tabla II se muestra un resumen de estas líneas, elaborada por el Prof. Jorge Mostany en su ponencia durante II Encuentro del Doctorado en Ingeniería [5].

Tabla II. Resumen de los Trabajos del II Encuentro del Doctorado en Ingeniería realizada por el Prof. Jorge Mostany.

Ingeniería Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"><li>Herramientas para diagnóstico preventivo de fallas</li></ul>
Electrónica y Circuitos	<ul style="list-style-type: none"><li>Control de máquinas eléctricas:</li><li>Teoremas de inestabilidad de Liapunov</li></ul>
Ingeniería de Materiales (Superficies)	<ul style="list-style-type: none"><li>Modelos matemáticos de plasmas fluidos bajo campos magnéticos</li></ul>
Ingeniería de Materiales (Polímeros)	<ul style="list-style-type: none"><li>Reología, comportamiento fisicoquímico, Propiedades dieléctricas</li></ul>
Ingeniería de Sistemas	<ul style="list-style-type: none"><li>Sistemas informáticos para:</li><li>manejo del aprendizaje, optimización no lineal y sensores virtuales</li></ul>
Bioingeniería	<ul style="list-style-type: none"><li>Análisis matemático y estadístico de registros biomédicos</li></ul>
Ingeniería Mecánica	<ul style="list-style-type: none"><li>Simulación matemática y simulación de Mecánica de fluidos y calor</li></ul>
Ingeniería Química	<ul style="list-style-type: none"><li>Modelaje de procesos químicos</li><li>Síntesis y diseño de procesos químicos mediante algoritmos evolutivos</li></ul>



Los resúmenes de los trabajos presentados en este encuentro pueden ser consultados en [2]. A continuación se enumeran estos trabajos, clasificados según la coordinación afín del estudiante doctoral. Se menciona el nombre del trabajo, el primer autor quien es el estudiante doctoral, y el grupo de Investigación y Desarrollo al cual pertenece el trabajo.

### **Coordinación: Ingeniería de Materiales**

- 1 *Simulación numérica del flujo de plasma térmico en un reactor asistido por campos magnéticos*  
Gabriel Torrente, N. Labrador, C. Cereceda.  
Grupo: Centro de Ingeniería de Superficie,
- 2 *Cristalización en copolímeros dibloque plla-b-PCL.*  
Reina V. Castillo, A.J. Müller I.W. Hamley, V. Castelleto, C. Martin, E. Pollet, Ph. Duboise  
Grupo: Polímeros
- 3 *Miscibilidad y fluctuaciones de concentración en mezclas de P(S-CO-AM)/PCL*  
Dinorah Newman, E. Laredo, M. Grimau, A. Bello, V. Balsamo  
Grupo: Física de Materiales Amorfos y Cristalinos
- 4 *Crystallization and morphology of polystyrene-block-polyethylene diblock copolymers.*  
Arnaldo Lorenzo, M.L. Arnal, A. Müller, A. Boschetti de Fierro, V. Abetz  
Grupo: Polímeros
- 5 *Comportamiento reológico de poliacrilamidas hidrofóbicamente modificadas en presencia de un surfactante catiónico*  
Laura M. Gouveia, I. Fernández, E.K. Penott, A.J. Müller, A.E. Sáez  
Grupo: Polímeros
- 6 *Influence of lipids content and screw speed on expansion of corn grits extrudates*  
Aura Cova, A. J. Sandoval, A. Müller, C. Michon, B. Launay, P. Granda  
Grupo: Polímeros
- 7 *Estudio reológico de la cinética de envejecimiento de soluciones acuosas de poli(óxido de etileno) y dodecibenceno sulfonato de sodio en presencia de luz*  
Miguel F. Torres, A. J. Müller, M.A. Szidarovszky, A.E. Sáez  
Grupo: Polímeros

### **Coordinación: Ingeniería Biomédica**

- 8 *Análisis espectral durante fibrilación auricular para predecir el éxito de la desfibrilación intracardiaca de baja energía en pacientes con fibrilación auricular*  
José Díaz, O. Escalona  
Grupo: Bioingeniería y Biofísica Aplicada



- 9 *Uso de la amplitud y frecuencia instantáneas para la caracterización de estados epilépticos*  
Mary Díaz, J. Viola, R. Esteller  
Grupo: Bioingeniería y Biofísica Aplicada

**Coordinación: Ingeniería Mecánica**

- 10 *Un paso mas en el estudio del comportamiento de los squeeze flim dampers (SFDs)*  
Jorge Torres, S. Díaz  
Grupo: Dinámica de Sistemas Mecánicos
- 11 *Determinación del efecto de la radiacion termica en la capa límite turbulenta sobre perfiles o alabes en turbomáquinas (Parte I)*  
Yesenia León, E. Anselmi, F. Malpica, A. Tremante, J. Hidalgo  
Grupo: Laboratorio de Conversión de Energía Mecánica
- 12 *Estudio de la transición laminar-turbulenta de la capa límite en flujo interno*  
N. Espinoza, A. Tremante, F. Malpica  
Grupo: Laboratorio de Conversión de Energía Mecánica

**Coordinación: Ingeniería Electrónica**

- 13 *Control de motores de inducción por control directo de par utilizando convertidores matriciales*  
Jorge Lara, V. Guzmán, M. Giménez, J. Restrepo, A. Cabello  
Grupo: Sistemas Industriales de Electrónica de Potencia
- 14 *Rectificador pwm sincrónico monofásico con cot-ann sin sensor de tensión de línea usando entrenamiento basado en teorema de estabilidad de lyapunov.*  
Julio C. Viola, J. A. Restrepo, A. J. Millán, R. G. Harley, T. B. Habetler  
Grupo: Grupo de Sistemas Industriales de Electrónica de Potencia
- 15 *Generador de alta frecuencia para su uso en una unidad de zunchado.*  
Julio Walter, V. Esteve, J. Martínez, E. Dede, V. Guzmán, G. Ceglia, A. Millán, M. Giménez.  
Grupo: Sistemas Industriales de Electrónica de Potencia
- 16 *Control directo de par para el motor de reluctancia conmutada usando control difuso de estructura variable.*  
Alexis Cabello, J. Restrepo, V. Guzmán, M. Giménez.  
Grupo: Sistemas Industriales de Electrónica de Potencia

**Coordinación: Ingeniería Química**

- 17 *Hidrogenación selectiva de diolefinas en empaques metálicos catalíticos estructurados*  
Susana Curbelo De Pablos, R. Galiasso  
Grupo: Grupo de Termodinámica Aplicada al Diseño de Procesos



- 18 *Aplicación de un algoritmo evolutivo en la síntesis y diseño integrado de procesos*  
Silvana Revollar, R. Lamanna, P. Vega  
Grupo: Modelado de Sistemas
- 19 *Modelaje de un reactor de hidrocrackeo de gasóleos de vacío en presencia de altas presiones parciales de  $\text{NH}_3$  y  $\text{H}_2\text{S}$*   
Alexis Bouza, B. Solari  
Grupo: Grupo de Termodinámica Aplicada al Diseño de Procesos

#### **Coordinación: Ingeniería de Sistemas**

- 20 *Nuevo método no monótono sin derivadas para la solución de problemas de optimización con función objetivo no lineal sujeta a restricciones lineales*  
Ildemaro García, U.M. García  
Grupo: Control y Optimización
- 21 *Tailoring rule for lms selection: a case study*  
Gabriela Díaz-Antón, L. Mendoza, M. Pérez, A. Grimán  
Grupo: Laboratorio de Investigación en Sistemas de Información
- 22 *Sensores virtuales*  
Yamilet Sanchez, R. Lamanna  
Grupo: Modelado de Sistemas

#### **Coordinación: Ingeniería Eléctrica**

- 23 *Diagnóstico de fallas incipientes en el motor de inducción utilizando métodos no convencionales*  
Irahis Rodríguez, R. Alves  
Grupo: Sistemas Industriales de Electrónica de Potencia

Estos trabajos fueron expuestos en carteles y sometidos a concurso y se realizó una evaluación bajo los criterios de originalidad, interdisciplinariedad, aplicabilidad, avance, profundidad del trabajo y la presentación del mismo.

Estos trabajos dan muestra de la heterogeneidad de las líneas de investigación involucradas en programa. Si se analiza en detalle los resúmenes presentados, se observará que los equipos de trabajo están constituidos por profesores de diferentes áreas del conocimiento, así como por investigadores de otras instituciones. Todo esto representa una muestra de la interdisciplinariedad de los Comités Doctorales y de los Grupos de Investigación y Desarrollo de la USB.

### **3.- EJEMPLOS DE INTERDISCIPLINARIDAD**

La Interdisciplinariedad del programa doctoral se observa en la conformación de los Comités Doctorales. En estos comités participan profesores con doctorados en diferentes disciplinas para



dirigir y orientar adecuadamente al estudiante doctoral, y en la elaboración de los planes de trabajo los cuales abarcan diferentes áreas del conocimiento.

Se ha escogido ilustrar la interdisciplinariedad del Doctorado en Ingeniería mediante las tesis doctorales realizadas en el área de la ingeniería Biomédica, ya que hasta la fecha de este trabajo, 5 de los 15 egresados del Doctorado en Ingeniería han realizado sus tesis Doctorales en esta área del conocimiento. A continuación se listan las tesis doctorales señalando el autor, año de egreso, título, nombre y afiliación de los tutores, coordinación afín del estudiante y grupo de investigación donde se realizó el trabajo.

### **Tesis Doctorales relacionadas con la Ingeniería Biomédica**

- Antonino Caralli, (2003). Aplicaciones de funciones de potencia al muestreo y la localización de picos de señales electrocardiográficas.

Tutor: Prof. Francisco García S

Coordinación afín: Ingeniería Electrónica.

Grupo de Investigación: Laboratorio de Estado Sólido.

- Rossany Roche, (2005). Modelado Matemático de la célula cardiaca.

Tutores: Prof. Rosalba Lamanna Francois Rocaries (Laboratoire Algorithmique et Architecture des Systèmes Informatiques, Francia)

Coordinación Afín: Ingeniería de Sistemas.

Grupo de Investigación: Modelado de Sistemas.

- Antonio Bravo, (2006). Simulación y Reconstrucción en 4D del Ventrículo Izquierdo en Imagenología Cardíaca.

Tutores: Prof. Gianfranco Passariello y Prof. Rubén Medina (ULA).

Coordinación Afín: Ingeniería Biomédica.

Grupo de Investigación: Bioingeniería y Biofísica Aplicada.

- Jesús P. Rodríguez, (2006). Caracterización morfológica de fibras de mielina por análisis de imágenes y por difracción de rayos-x.

Tutores: Prof. Thierry Poirier y Prof. Rodolfo Vargas (IDEA).

Coordinación Afín: Ingeniería Biomédica.

Grupo de Investigación: Grupo de Superficies.

- Julio Cruz, (2007). Sistemas Multiagentes Aplicados a Cuidados Neonatales.

Tutores: Prof. Sara Wong y Dr. Alfredo Hernández (Université de Rennes I, Francia).

Coordinación Afín: Ingeniería Biomédica.

Grupo de Investigación: Bioingeniería y Biofísica Aplicada.

En estos trabajos se pueden resaltar los aspectos siguientes:

1) Aunque existe una Coordinación afín a la Ingeniería Biomédica, los doctorados en esta no son exclusivos de esta coordinación. En estos casos constatamos que dos Tesis han sido finalizadas en las Coordinaciones de Ingeniería Electrónica e Ingeniería de Sistemas.

2) En las Tesis realizadas bajo cotuela, participan Doctores de otras universidades o institutos nacionales e internacionales, con los cuales la universidad mantiene cooperaciones activas.



3) Cuatro de estos estudiantes participaron en programas de cooperación con Francia a través de los programas ECOS y ALFA.

#### 4.- CONCLUSIONES

La escalada de adelantos científicos y tecnológicos de las últimas décadas del siglo XX enfrenta a los científicos a problemas globales como el uso de las energías alternativas, el terrorismo, los sistemas de comunicaciones, etc. Todos estos son retos interdisciplinarios, en los cuales la ingeniería tiene mucho que aportar, sin embargo en estos problemas tan complejos los científicos deben poseer habilidades y conocimientos adicionales a sus formaciones de base.

La formación interdisciplinaria requiere de un esfuerzo adicional, requiere que cada disciplina involucrada este anclada en bases de conocimiento sólidas, que exista un trabajo en equipo sinérgico y de una voluntad de dialogo para comprender y aceptar puntos de vista y escalas de observación diferentes. Al menos los dos primeros factores están garantizados en el DrÍng mediante la formación curricular y el apoyo de los grupos de investigación y el último aspecto se adquiere con la participación pro-activa del estudiante en el grupo de investigación interdisciplinario.

El impacto interdisciplinario de los primeros egresados del Doctorado en Ingeniería ha sido positivo. Los egresados del programa, se han insertado en el medio académico actuando como agentes multiplicadores de conocimientos y participando activamente en grupos interdisciplinarios. Estos son apenas resultados incipientes pero alentadores que indican que el programa esta formando doctores para dar respuesta a las exigencias científico-tecnológicas de nuestra aldea global.

#### 5.- REFERENCIAS

- [1] Grupos de Investigación, Decanato de Investigación y Desarrollo, USB (2007). <http://www.did.usb.ve/grupos.php>, revisado el 03-03-07, 19:25 UTC
- [2] Relaciones Internacionales, USB (2007). <http://www.internacionales.dsm.usb.ve/>, revisado el 03-03-07, 20:05 UTC
- [3] Funindes (2007). <http://www.funindes.org.ve/>, revisado el 03-03-07, 20:00 UTC
- [4] Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (2007). <http://www.fonacit.gob.ve/>, revisado el 03-03-07, 20:15 UTC
- [5] II Encuentro de estudiantes del Doctorado en Ingeniería (2007). [http://www.dring.postgrado.usb.ve/HTML/IIencuentro\\_resumenes.htm](http://www.dring.postgrado.usb.ve/HTML/IIencuentro_resumenes.htm), revisado el 03-03-07, 19:20 UTC

#### Sara Wong

Sara Wong nació en Caracas en 1968. Obtuvo el título de Ingeniero Electrónico de la Universidad Simón Bolívar en 1992. En 1994 terminó su Maestría en Ing. Electrónica. En 2004 recibió el grado de Doctor en Procesamiento de Señales y Telecomunicaciones de la Université de Rennes I, Francia. Actualmente es Profesor Agregado del Departamento de Electrónica y Circuitos, Co-Responsable del Grupo de Bioingeniería y Biofísica Aplicada y Coordinadora del Doctorado en Ingeniería de la Universidad Simón Bolívar. Sus áreas de investigación son: Procesamiento de Señales, Variabilidad Cardíaca, Sistemas de Monitoreo Inteligentes y Telemedicina.