



2019 10 al 13 de septiembre - Cartagena de Indias, Colombia

RETOS EN LA FORMACIÓN DE INGENIEROS EN LA ERA DIGITAL

FORTALECIMIENTO DE COMPETENCIAS INVESTIGATIVAS EN PREGRADO A TRAVÉS DE UN ENFOQUE MULTIDISCIPLINAR

**Jaime Aguilar, Manuel Valencia,
Helberg Asencio, Carlos Lozano
Espinosa, Lina Becerra, Magda
Carolina Díaz, Camilo Morales, Ana
Dilvia Tamayo**

**Pontificia Universidad Javeriana
Cali, Colombia**

Ricardo Chavarriaga

**École polytechnique fédérale de
Lausanne
Lausana, Suiza**

Marcela Bolaños

**Universidad del Valle
Cali, Colombia**

Resumen

Se presenta la experiencia de un curso para el fomento de las competencias investigativas junto con las habilidades de expresión oral y escrita a partir de un trabajo interdisciplinar con estudiantes de ingeniería y de salud. El curso cuenta con la participación de docentes de diferentes profesiones: biólogo, ingenieros, médico, fisioterapeuta y socióloga. El curso trabaja en torno a la discapacidad motora que es un problema complejo que debe ser abordado desde un enfoque multidisciplinar. Esta aproximación se considera válida para la generación de nuevas líneas de investigación en esta área de discapacidad como también para el desarrollo de productos innovadores. El curso da una visión global de la discapacidad, fisiología, neurofisiología, normatividad, instrumentación, creatividad-innovación y desarrollo tecnológico en prótesis neurocontroladas, en módulos ofrecidos por expertos en cada una de las áreas. En el curso se promueve el trabajo colaborativo entre diferentes profesiones y se evalúa a través de la revisión de literatura científica o el diseño conceptual de un producto a través de un prototipo. Este curso permitió una colaboración entre entidades académicas y científicas (universidades nacionales e internacionales), e instituciones de salud (Centro de Neuro-rehabilitación SURGIR). Como resultado de esta experiencia se logró: i. Generar nuevas propuestas de trabajo de grado en ingeniería que abordan problemas de salud, ii. Favorecer las competencias de lectura crítica, expresión oral y expresión escrita de los estudiantes, iii. Desarrollar prototipos para solución de problemas de discapacidad con una visión

más amplia del problema y iv. Contribuir a la colaboración interinstitucional de entidades académicas y de servicio de salud dado que se ha ofrecido también a otras instituciones.

Palabras clave: interdisciplinar; discapacidad; innovación

Abstract

We present the experience of a lecture for the promotion of research skills along with oral and written expression skills from an interdisciplinary work with engineering and medicine students, covering analysis of problems related to human motor disability. The course has the participation of teachers of different professions, such as biologist, engineers, medicine doctors, physiotherapists and sociologists. The course focuses on human motor disability, which is a complex problem that must be approached from a multidisciplinary perspective. This approach is considered valid for the generation of new lines of research in this area of disability as well as for the development of innovative products. The course gives a global vision of disability, physiology, neurophysiology, normativity, instrumentation, creativity-innovation and technological development in neurocontrolled prostheses, in modules offered by experts in each of the areas. The course promotes collaborative work between different professions and is evaluated through the review of scientific literature or the conceptual design of a product through a prototype. This course allows a collaboration of academic and scientific entities (national and international universities), and health institutions (Centro de Neurorehabilitación SURGIR). As outcomes of this experience, there have been found the following benefits: i. Generate new proposals for engineering degree work that address health problems, ii. Encouragement in critical reading, oral expression and written expression skills of students, iii. Develop prototypes to solve disability problems with a broader vision of the problem and iv. Contribute to the inter-institutional collaboration of academic entities and health service since it has also been.

Keywords: *interdisciplinarity, disability, innovation*

Introducción

Según el Ashe Higher Education Report (Holley, 2009), aunque se requiere que en la universidad se afronte problemas complejos de tipo social, cultural y económico de una manera interdisciplinar, hay poca evidencia empírica que se esté trabajando en ello. En este sentido, el informe hace un llamado para que este tipo de experiencias sean desarrolladas en las instituciones de educación superior. De este modo, el enfrentar a los estudiantes en la universidad a un trabajo interdisciplinar da un valor para que ellos tengan una visión holística de los problemas, esto le permite al estudiante fortalecer el pensamiento crítico y el diseño más allá de la capacidad de una disciplina. La interdisciplinaria favorece la interacción de las disciplinas, las fortalece y enriquece. Muchos de los avances de la ciencia se deben al trabajo conjunto entre diversas disciplinas. La interdisciplinaria es sinónimo de innovación, creatividad y de reforma para el progreso del sistema en la producción de conocimiento (Aguilar et al. 2012). El curso que se presenta en este documento, incluye tres universidades, con tres facultades ciencias de la salud, rehabilitación e

ingeniería y ciencias, un instituto de investigación internacional y un centro de rehabilitación. (Chavarriga et al. 2014)

Los currículos tradicionales en ingeniería dan mayor importancia al aprendizaje de métodos y técnicas asociadas con la disciplina, sin un contexto de aplicación que tenga incidencia en necesidades sociales, por ello se requiere una aproximación a los usuarios o personas que tienen las necesidades con el propósito de establecer con ellos adecuadamente los requerimientos de los productos. En esta aproximación, el estudiante de ingeniería debe aprender a identificar contextos y hablar con otros en un lenguaje no técnico. Adicionalmente, el estudiante debe interactuar con otras disciplinas puesto que los campos de dominio de su profesión son limitados. La propuesta del curso que se presenta en este documento involucra profesores de diversas disciplinas asociadas con el problema de la discapacidad y el curso se ofrece a estudiantes tanto de medicina como de ingeniería junto con el apoyo de una institución que trabaja con personas en situación de discapacidad quienes son las personas que tienen las necesidades de apoyo tecnológico debidamente contextualizado (Kessel, 2008).

La acreditación ABET soporta su evaluación de los programas de ingeniería con base en competencias de formación de los estudiantes. Los programas de ingeniería desde esta perspectiva orientan sus currículos para alcanzar dichas competencias como La habilidad para funcionar en equipos multidisciplinares (D), la habilidad para comunicarse efectivamente (G), la resolución de problema (E), identificar marcos de referencia (H) y el reconocimiento de la necesidad de aprender a lo largo de la vida (I) no son fáciles de abordar dentro de aquellos cursos enfocados de manera disciplinar. Un mecanismo adecuado para trabajar en estas competencias es a partir de la creación de cursos orientados a problemas.

La discapacidad es un problema social que se presenta por las limitaciones físicas o mentales que pueden tener las personas. El problema de la discapacidad motora de miembros inferiores se presenta en el contexto del Valle del Cauca debido a causas de violencia, lo cual no es común en otras latitudes (Hurtado-Floyd et al., 2012). El tema de inclusión busca que las personas tengan las mismas oportunidades que aquellas que no tienen limitaciones. Una recuperación de las personas con discapacidad motora requiere de una aproximación tanto técnica como fisiológica, en ese sentido el curso que se plantea busca la integración de esos saberes para identificar desarrollos actuales y proponer desarrollos futuros a partir de varios elementos, las disciplinas, el acercamiento a las personas y las modernas técnicas tanto para generar nuevos productos como para validar el funcionamiento de tecnologías actuales para rehabilitación con base en el control neuronal (Millán, J. D. et al. 2010; Cano-de-la-Cuerda, R. 2015).

Este documento se organiza de la siguiente manera, primero se presenta el origen del curso, seguido por las intencionalidades formativas, después la organización y evaluación del curso asociado con dichas intencionalidades, luego se presentan los resultados obtenidos en los trabajos realizados y una evaluación del curso realizada por los estudiantes. Finalmente, se presentan las conclusiones a partir de esta experiencia interdisciplinar.

El origen del curso

El curso Sistemas de Control Neuronal para Personas en Situación de Discapacidad Motora nació de un proyecto de investigación, el proyecto ANDAR, que se orientó a la evaluación del desempeño de equipos interdisciplinarios en el diseño de nuevos productos de apoyo para personas en situación de discapacidad. Para la evaluación de este desempeño se propuso un método de diseño centrado como se muestra en la Figura 1 en el usuario con participación de varias disciplinas orientadas a la solución del problema social. Este trabajo, centrado en el problema o necesidad del usuario, ayudó a que la interacción de las disciplinas fuera posible puesto el acercamiento no fue disciplinar sino problémico. Para el proceso de diseño se utilizó un método sistémico de análisis de problemas y de generación de ideas de una manera estructurada. Dentro de los resultados del proyecto se generó este curso que podría brindar dos valores a los estudiantes, el primero, el reconocimiento de la discapacidad como un problema complejo y el segundo, la oportunidad de trabajar con otras disciplinas.

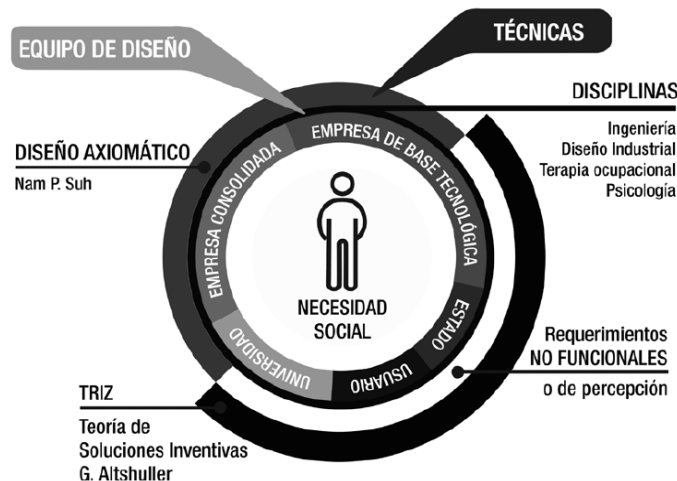


Figura 1. Modelo de Trabajo Interdisciplinario Centrado en la Necesidad Social (Revista Nexus)

Dentro del proyecto, se trabajó con equipos de naturaleza interdisciplinaria con psicólogo, terapeuta ocupacional, ingenieros, médico, biólogo, fisioterapeutas y diseñadores a partir de dos subproyectos con personas en situación de discapacidad motora. La tabla siguiente muestra la relación de las profesiones con las temáticas asociadas al curso.

Disciplina	Temática asociada al curso
Medicina	Neurología
Biología	Fisiología humana
Fisioterapia	Discapacidad y reeducación
Ingeniería	Diseño de Producto, instrumentación, procesamiento de señales y control de neuroprótesis.

Tabla 1: Descripción de la participación de las disciplinas en la construcción del curso interdisciplinario

Intencionalidades Formativas del curso

El curso de Sistemas de Control Neuronal para Personas en Situación de Discapacidad Motora busca principalmente fortalecer cinco competencias de los estudiantes de acuerdo a las definidas por ABET: La habilidad para funcionar en equipos multidisciplinares (D), la habilidad para comunicarse efectivamente (G), la resolución de problema (E), identificar marcos de referencia (H) y el reconocimiento de la necesidad de aprender a lo largo de la vida (I). Estas intencionalidades formativas se trabajan de manera natural en el curso debido a que el curso está enfocado en el problema de la inclusión social de las personas con discapacidad motora lo cual no sólo es un problema técnico sino social que requiere del diálogo y el aporte de diferentes disciplinas. El curso tiene una ilación temática que se ha logrado construir con base en la experiencia investigativa que se tuvo en el trabajo investigativo con equipos interdisciplinares.

Los objetivos de aprendizaje asociados del curso son: i. Identificar la importancia de la inclusión social de las personas en situación de discapacidad, ii. Identificar los elementos fisiológicos que intervienen en el proceso de activación motora; iii. Identificar los procesos terapéuticos para la reeducación de los sistemas motores después de un accidente cerebro vascular; iv. Analizar el proceso del diseño de productos de apoyo con equipos interdisciplinares centrados en el usuario. v. Reconocer los procesos tecnológicos en la manipulación de señales bioeléctricas y vi. Identificar técnicas y manipular señales EEG para identificación de patrones motores.

La organización y evaluación del curso

El curso se organiza en tres grandes bloques, el primero incluye la conceptualización de inclusión social, las bases fisiológicas del control motor en las personas y el proceso de reeducación. El segundo trata los aspectos del diseño de sistemas de apoyo para la rehabilitación, donde se incluyen aspectos de innovación, diseño e instrumentación, y el tercero se orienta al conocimiento de los sistemas de apoyo a la discapacidad basados en la adquisición y el procesamiento de señales bioeléctricas que se utilizan en las prótesis neurocontroladas. En cada bloque se tiene la participación de diversas disciplinas como se mostró en la Tabla 1.

Temas abordados

La organización del curso de manera temática en cinco temas principales donde se desarrollan las siguientes temáticas:

1. El concepto de discapacidad. En este módulo se presentan conceptos básicos sobre discapacidad, la situación actual de las personas en situación de discapacidad en el país, la normatividad para inclusión y los estándares mundiales sobre discapacidad.
2. Introducción a la fisiología del movimiento. Se realiza una introducción a sistemas motores (unidad motora) (Westerblad, Bruton & Katz, 2010), circuitos de la médula espinal y control motor. Aspectos asociados con el control descendente del circuito de la médula espinal y modulación del movimiento.

3. El reentrenamiento para personas con discapacidad. En este módulo se aborda las características de un proceso de terapia junto con las técnicas para aprendizaje y reaprendizaje motor (Cano-de-la-Cuerda, 2015). Esto se acompaña con una visita al centro de neurorehabilitación Surgir, donde los estudiantes interactúan con los fisioterapeutas dentro de una sesión de reentrenamiento.

4. La creatividad e Innovación para el diseño de nuevos productos. En este módulo se trabajan los conceptos de innovación, se revisa la normativa de productos de apoyo para personas en discapacidad, el tema de la creatividad con el método TRIZ y diseño de productos (Aguilar, Riveros & Sandoval, 2012; Chavarriaga et al., 2014).

5. La bioinstrumentación. En este módulo se trabaja el aspecto asociado con la adquisición de señales, filtrado espacial, análisis temporal, análisis en frecuencia y el análisis de patrones espaciales. Esto se acompaña con una práctica de adquisición y procesamiento de señales.

6. El control neuronal de prótesis. En este módulo se trabaja los sistemas neurocontrolados y Machine Learning para las interfaces cerebro-computador BCI (Millán, 2010; Lemm, 2011).

Las actividades curriculares o didácticas desarrolladas para el cumplimiento de los objetivos del curso incluyen: clases magistrales, exposiciones, talleres y clases prácticas de laboratorio.

Clases Magistrales: Los profesores presentan con exposiciones los diferentes tópicos asociados a las temáticas del curso.

Exposiciones: Los equipos de trabajo, organizados de manera interdisciplinar, realizan el análisis crítico de artículos científicos, asociados a los temas asignados por el equipo de docentes. En estas exposiciones los profesores utilizan unas rúbricas específicas para su calificación.

Talleres: Los profesores junto con el grupo de estudiantes trabajan ejercicios en clase y actividades prácticas sobre conceptos relacionados con la neurología, el proceso de activación del movimiento y experimentos asociados con el procesamiento digital de señales.

Prácticas de laboratorio: El curso tiene organizadas tres prácticas de laboratorio en las temáticas de fisiología, bioinstrumentación y control neuronal de prótesis.

Visitas: Se tiene programada una visita al Centro de rehabilitación SURGIR donde los estudiantes conocen de primera mano el trabajo de reentrenamiento de los pacientes con los terapeutas e identifican oportunidades para el diseño de nuevos productos.

La evaluación del curso

El curso se evalúa a través de trabajos y exposiciones de revisión de literatura científica, informes de laboratorio y un examen escrito en el cuarto módulo. Estas evaluaciones están asociadas con las competencias ABET declaradas en el programa. En el último semestre que se ofreció el curso, el trabajo final tuvo, como alternativa a la revisión de literatura científica, la opción del diseño de un prototipo funcional de un producto de apoyo, con el uso del método de creatividad TRIZ visto en el curso.

Resultados del curso

El curso se ofrece con profesionales de cuatro entidades, la Universidad del Valle, el Centro de Neurorehabilitación Surgir, la Pontificia Universidad Javeriana y el École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Este tiene asignados 3 créditos académicos.

El curso se ha ofrecido anualmente desde 2015, generalmente en el segundo semestre del año, según disponibilidad del equipo de profesores. En los cinco años en los que se ha ofertado el curso se ha tenido una participación total de 52 estudiantes de los programas de pregrado: 28 de Ingeniería y 24 del área de salud de la Universidad Javeriana, se han generado dos propuestas de trabajo de grado que involucran personas en situación de discapacidad. El primero orientado a discapacidad en el habla y el segundo en reentrenamiento para personas que han sufrido un accidente cerebrovascular.

Para indagar sobre la estructura, los temas tratados y la metodología del curso, se envió una encuesta a los estudiantes que cursaron la asignatura en los últimos años, arrojando los siguientes resultados:

1. La estructura del curso por parte de los estudiantes fue calificada como excelente y buena por el 80% y 20% de los encuestados, respectivamente.
2. Sobre los temas que les gustaría profundizar, el procesamiento de señales (60%) y el diseño de producto (40%) fueron los destacados.
3. Frente a una pregunta sobre los elementos metodológicos que le imprimen valor al curso lo más destacado fue: la multidisciplinariedad de los profesores (60%), la metodología de enseñanza-aprendizaje (60%), el trabajo interdisciplinar de los estudiantes (40%), las temáticas tratadas (40%), otros (40%) y la ampliación del desarrollo profesional (20%)
4. Frente a la importancia del trabajo interdisciplinar los estudiantes lo valoraron como muy importante (80%) y suficientemente importante (20%), y
5. Finalmente, los estudiantes manifestaron sus comentarios para mejoramiento del curso donde expresaron que se debería revisar el nombre del curso porque no expresa en el título la interdisciplinariedad, el curso tiene mucho contenido teórico y los trabajos son extensos y sugieren hacer más trabajo práctico.

Discusión

El curso tiene una alta relevancia en los procesos formativos de los estudiantes puesto que ellos están aprendiendo de la experiencia interdisciplinar de sus profesores dado que el curso es derivado de un trabajo investigativo y donde la producción intelectual de los profesores se utiliza en el mismo curso.

El trabajo realizado es un aporte a la falta de experiencias de trabajo interdisciplinar, donde se procura romper barreras disciplinares y exponer a los estudiantes con otras disciplinas para validar la importancia del conocimiento universal. Por la experiencia vivida en el curso, se descubre que

el contacto de los ingenieros con los pacientes fortalece la sensibilidad y la solidaridad para generar propuestas de trabajo de grado.

La opción de realización de prototipos funcionales de nuevos productos es una estrategia adecuada para el aprendizaje y debe seguirse explorando este aspecto que va en la línea de la profundización de diseño de producto que reclaman los estudiantes.

Conclusiones

En general se puede concluir que este es un curso donde el estudiante es protagonista de su trabajo y se logró:

- i. Generar nuevas propuestas de trabajo de grado en ingeniería que abordan problemas de salud.
- ii. Favorecer las competencias de lectura crítica, expresión oral y expresión escrita de los estudiantes.
- iii. Desarrollar prototipos para solución de problemas de discapacidad con una visión más amplia del problema.
- iv. Contribuir a la colaboración interinstitucional de entidades académicas y de servicio de salud dado que se ha ofrecido también a otras instituciones.

Referencias

- Hurtado-Floyd, M.; Aguilar-Zambrano, J.; Mora-Antó, A.; Sandoval-Jiménez, C.; Peña-Solórzano, C. & León-Díaz, A. (2012) Identificación de las barreras del entorno que afectan la inclusión social de las personas con discapacidad motriz de miembros inferiores. *Salud Uninorte*, Vol. 28, No. 2, pp. 227-237
- Westerblad, H, Bruton, J.D. & Katz, A. (2010) Skeletal muscle: Energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. *Experimental Cell Research*, Vol. 306, pp. 3093-3099
- Cano-de-la-Cuerda, R.; Molero-Sánchez, A.; Carratalá-Tejada, M.; Alguacil-Diego, I., Molina-Rueda, F.; Miangolarra-Page, J. & Torricelli, D. (2015) Teorías y modelos de control y aprendizaje motor. *Neurología*, Vol. 30, No. 1, pp. 1-70
- Millán, J. D.; Rupp, R.; Müller-Putz, G. R.; Murray-Smith, R.; Giugliemma, C.; Tangermann, M. & Mattia, D. (2010). Combining Brain-Computer Interfaces and Assistive Technologies: State-of-the-Art and Challenges. *Frontiers in neuroscience*, Vol. 4, 161.
- Lemm, S.; Blankertz, B.; Dickhaus; T. & Müller KR. (2011) Introduction to machine learning for brain imaging. *Neuroimage*, Vol. 56, pp. 387-399
- Holley, Karri A. (2009). Understanding Interdisciplinary Challenges and Opportunities in Higher Education. ASHE Higher Education Report: Volume 35, Number 2 . San Francisco, Calif.
- Chavarriaga, R., Hurtado, M. N., Bolanos, M., Loaiza, J. A., Mayor, J. M., Valencia, M., & Aguilar-Zambrano, J. (2014). Multidisciplinary design of suitable assistive technologies for motor disabilities in Colombia. In *IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC 2014)* pp. 386-391.

- Aguilar, J.; Riveros, D.; Sandoval, C. (2012) Diseño Interdisciplinar: experiencia con el modelo ampliado del diseño axiomático en productos de apoyo que favorezcan la Inclusión Social. Revista Nexus, Vol 12, pp.
- Kessel, F. & Andeson, N. (2008) Interdisciplinary Research: Case Studies from Health and social Science. Oxford University Press USA.
- J. Yeargan, D. Aldridge, I. Jacobson and J. White, "ABET Engineering Criteria 2000," *Proceedings Frontiers in Education 1995 25th Annual Conference. Engineering Education for the 21st Century*, Atlanta, GA, USA, 1995, pp. 3b6.1-.

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2019 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)