

## INGENIERÍA BIOMÉDICA, INTERDISCIPLINA Y SOCIEDAD

FRANCO SIMINI y BIANCA VIENNI

Núcleo de Ingeniería Biomédica de las Facultades de Medicina e Ingeniería (Universidad de la República, Uruguay).

Dirección postal: Av. Italia s/n Hospital de Clínicas, Piso 15 (Montevideo, Uruguay).

Correo electrónico: simini@fing.edu.uy

Unidad Académica, Espacio Interdisciplinario (Universidad de la República, Uruguay). Dirección postal: José Enrique Rodó 1843 (CP 11200, Montevideo, Uruguay)

Correo electrónico: biancav@ei.udelar.edu.uy

Recibido: octubre 2015

Aprobado para publicación: abril 2016

### RESUMEN

El Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB) es un grupo de trabajo interdisciplinario de las Facultades de Medicina e Ingeniería de la Universidad de la República (Uruguay), cuyo objetivo es el desarrollo de la Ingeniería Biomédica (IB) como aporte a la solución de desafíos médicos. Treinta años después de los comienzos de la actividad del NIB, este artículo presenta el análisis del colectivo desde la perspectiva de la continuidad de trabajo y de su consolidación integral en la interdisciplina. Se exponen los resultados del estudio del que pueden extraerse conclusiones generales para el avance de la IB. Se detallan algunos elementos que promueven u obstaculizan la producción de conocimiento interdisciplinario en contextos universitarios con la participación de actores extra-académicos.

*Palabras clave:* ingeniería biomédica, interdisciplina, universidad, sociedad, Uruguay

### BIOMEDICAL ENGINEERING, INTERDISCIPLINARITY AND SOCIETY

#### ABSTRACT

The Center for Biomedical Engineering (NIB) is an interdisciplinary work group of the Faculties of Medicine and Engineering, in the University of the Republic (Uruguay), aimed at the development of Biomedical Engineering (IB) as a contribution to the solution of medical challenges. Thirty years after the beginning of NIB's activities, this article presents the analysis of the group from the perspective of its continuity and integral consolidation in its comprehensive interdisciplinarity. From the group's findings general conclusions can be drawn showing the advancement of IB. Elements that promote or hinder the production of interdisciplinary knowledge in university contexts involving extra-academic actors are detailed.

*Keywords:* biomedical engineering, interdisciplinary knowledge, university, society, Uruguay

#### INTRODUCCIÓN

La interdisciplina es aplicada como un concepto particularmente creativo y socialmente relevante para el desarrollo científico que integra las ciencias sociales, exactas y naturales. Si bien en los últimos cuarenta años se ha construido un cuerpo robusto de literatura científica en torno a lo que implica la interdisciplina, hace relativamente poco tiempo que se trabaja en el análisis de las prácticas interdisciplinarias propiamente dichas (Frodeman, 2014). Este hecho se constata en la Universidad de la República (UdelaR, Uruguay), institución pública que incluye el desarrollo de la interdisciplina explícitamente en su

política universitaria (Arocena, 2008). Entender cómo el conocimiento es producido en el marco de una investigación interdisciplinaria es una de las claves para crear mejores condiciones de desarrollo y su transformación en objeto específico de políticas universitarias.

El Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB) es un grupo de trabajo interdisciplinario de las Facultades de Medicina e Ingeniería de la UdelaR, cuyo objetivo es el desarrollo de la Ingeniería Biomédica (IB) como aporte a la solución de desafíos médicos. Fundado en la frontera entre un pensamiento fisiopatológico y clínico rico en problemas no resueltos y una experiencia de desarrollos basados en

la ingeniería. Sus actividades incluyen la realización de prototipos en apoyo a la investigación, la enseñanza y la asistencia (Simini *et al.*, 2003). Las áreas de estudio del NIB han permitido la superación del enfoque de cada disciplina de origen, amalgamadas en objetivos comunes de obtención de nuevos aparatos, nuevos métodos y una comprensión original de la realidad fisiológica y patológica. Cual epílogo del esfuerzo de entendimiento, desarrollo y solución de problemas de instrumentación médica, el NIB propende hacia el fomento de la producción nacional de equipos biomédicos en el necesario proceso de transferencia tecnológica (Simini, 1994, 2015). El núcleo posee un enfoque interdisciplinario para la formación de profesionales en Ingeniería Biomédica capaces de enfrentar los desafíos de la instrumentación médica y biológica de las próximas décadas. Su aporte en la docencia del área médica de formación universitaria (desde el doctor en medicina hasta las licenciaturas en tecnología médica o en enfermería) contribuye a afianzar el diálogo fértil entre la medicina y la ingeniería.

Treinta años después de los comienzos de la actividad del NIB, resulta necesario evaluar y sistematizar la práctica interdisciplinaria llevada a cabo por el colectivo. Este estudio sirve de base para la toma de decisiones en el ámbito de la Ingeniería Biomédica desde lo institucional, la modalidad de trabajo, los puentes a tender hacia la sociedad y la relación con el estudiantado así como para la formulación de planes y metas para el futuro.

Este artículo presenta el análisis del quehacer de este colectivo desde la perspectiva de la continuidad de trabajo y de su consolidación integral en la interdisciplina. Se exponen los resultados del estudio de un caso ilustrativo de organización de la investigación interdisciplinaria del que pueden extraerse conclusiones generales. Se detallan algunos elementos que promueven u obstaculizan la producción de conocimiento interdisciplinario en contextos universitarios con la participación de actores extra-académicos. Se presenta asimismo el análisis de la forma y de la dinámica de cambio de un equipo reunido para el desarrollo de la Ingeniería Biomédica en Uruguay. El NIB está compuesto por un número variable y poco definido de integrantes debido a la afiliación lábil de integrantes de la Universidad de la República. Al acercarse para resolver un problema determinado, el docente o estudiante se asocia con otros en una integración interdisciplinaria “ad hoc”, seguida de otras tareas similares esbozando o confirmando una eventual continuidad por similitud de enfoques.

Las dimensiones de análisis fueron construidas desde la literatura científica y son puestas en perspectiva a partir de

la experiencia del NIB como grupo universitario. Partiendo de la hipótesis, ampliamente confirmada por varios autores (Lyall, Bruce, Tait & Meagher, 2010; Cruz, Repetto & Vienni, 2013; Vienni *et al.*, 2014) que el tiempo de continuidad de la actividad del grupo es un factor determinante en el desarrollo de la interdisciplina. Se constata además que existen otros aspectos que, conjugados, pueden favorecer este desarrollo y su proyección hacia el fortalecimiento del vínculo entre ciencia y sociedad.

## ANTECEDENTES

El NIB funciona dentro del Hospital de Clínicas (HC, hospital universitario), hecho que no es habitual en otras universidades. Fue arriesgada la ubicación de un grupo interdisciplinario de base ingenieril en pleno ambiente de un hospital docente y de investigación. En este sentido, el acuerdo de los decanos de las Facultades de Medicina e Ingeniería (Dr. Pablo Carlevaro e Ingeniero Luis Abete, respectivamente), en el año 1985, puede ser considerado como un reconocimiento al valor académico de la interdisciplina, antes de que se consolidaran en Uruguay estudios sobre su praxis, algo así como “interdisciplina ante litteram” dado que a lo sumo se mencionaban aspectos “multidisciplinarios”. La yuxtaposición de enfoques (multidisciplina) (Thompson Klein, 1996) fue superada en aquella decisión que permitía -por la inmersión en el hospital- una interacción más fuerte, hoy conocida como interdisciplina.

Esta inmersión de ingenieros en un entorno clínico y el trabajo mancomunado de docentes de diferente especialidad académica favorecieron una paulatina ósmosis de conocimientos y de problemas que son incorporados al lenguaje, a los valores y a los objetivos de trabajo; lo que permite que la potencia teórica y la disciplina puedan aplicarse sin el freno de la distancia ni de la intermediación. El ingeniero biomédico puede sentarse entonces en una ronda de médicos clínicos sin dificultades y sabrá cuando intervenir, aportando desde su perspectiva una búsqueda de integración interdisciplinaria. En forma especular, el médico que participa de un proyecto de desarrollo con ingenieros biomédicos aprende a intervenir en el momento justo, desde su propia perspectiva, enseñando lo medular de su requerimiento y aprendiendo algo del método ingenieril.

A treinta años de su fundación, la presencia de un núcleo de ingeniería biomédica en un hospital universitario es tomada como modelo en Porto Alegre, Oporto y Asunción del Paraguay. De la misma manera que en Uruguay, en la Universidad de Sheffield (Reino Unido) existe también en el Hospital Universitario un grupo activo en investigación

de nuevas herramientas de procesamiento de imágenes y de información médica con la finalidad de mejorar la asistencia clínica (Brown *et al.*, 2012)<sup>1</sup>.

El NIB nace originariamente de las necesidades de apoyo tecnológico y teórico que se manifestaron en la investigación médica y en particular en tres grupos activos en la segunda mitad del siglo XX: el grupo del Dr. Roberto Caldeyro Barcia, el Centro de Medicina Nuclear dirigido por el Dr. Eduardo Touya y el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable. Estas necesidades fueron detectadas por docentes que -individualmente o en grupo- tenían una preparación y un enfoque interdisciplinarios. En un mundo de creciente especialización académica, Uruguay había quedado aislado en ritmos académicos lentos y de acumulación de conocimientos dispares en ausencia de competencia por puestos codiciados. En esa época actuaron docentes cuyas capacidades abarcaron un amplio rango de conocimientos y competencias y que les permitieron recurrir a expertos externos con modestia. El conocimiento básico de una disciplina -ajena a la propia- los inducía naturalmente a dirigirse a colegas especialistas por considerarlos como recursos necesarios para la solución de problemas complejos. En una palabra, estaban dando pasos de carácter interdisciplinario. Hubo médicos que se especializaron en ingeniería por vocación e ingenieros que dedicaron sus energías a entender problemas de modelos fisiológicos mediante la inmersión sosegada en un entorno de investigación sin premuras y exigencias externas. El placer de la investigación -aun anacrónicamente en la década de 1960 y 1970- permitió construir las bases de los grupos, algunos interdisciplinarios, tales como el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE), Centro de Medicina Nuclear (CMN), Servicio de Fisiología Obstétrica (SFO), entre otros.

El momento histórico que permitió que se consolidara la idea del NIB fue el año 1984, cuando estudiantes de ingeniería, en busca de un proyecto de fin de carrera, solicitan ayuda a los docentes del espacio de investigación de lo que sería el NIB. Los aportes originales del grupo de Roberto Caldeyro Barcia (nacido como SFO y renombrado CLAP por la OPS/OMS en años posteriores) recibieron amplio reconocimiento internacional, basados en el trabajo de equipo de uno de los primeros grupos interdisciplinarios del país (Caldeyro Barcia & Poseyro, 1960). Este

<sup>1</sup> Las imágenes de angiografía obtenidas en el laboratorio de cateterismo son procesadas en el núcleo biomédico en otro piso del mismo hospital donde el clínico ensaya y simula sus intervenciones en colaboración con los ingenieros, antes de volver al lado del paciente a ejecutar la intervención. La función interdisciplinaria se cumple gracias a que las disciplinas interaccionan desde bases sólidas y complementarias.

colectivo hizo aportes en la descripción de los mecanismos fisiopatológicos complejos que se describían por primera vez en el mundo, tales como la contractilidad uterina y la acción de los oxitócicos (Beretta, 2006).

El trabajo científico del grupo de Caldeyro tenía sus canales de difusión y su modalidad de desarrollo típicos de las décadas de 1940 y 1950 en que fue fundado; es decir, con formaciones de docentes sin títulos académicos normalizados. En la nomenclatura del momento, no existían docentes con posgrado formal (PhD o Msc) entre los autores más reconocidos por sus descubrimientos y publicaciones fermentales. En el momento en que se verifica la interacción inicial indisciplinaria en Uruguay, los actores no tenían más que sus títulos de grado.

Posteriormente, en el año 1992, sumando a la docencia la participación en proyectos de investigación y seguimiento de proyectos de fin de carrera, el NIB toma la decisión de instaurar una experiencia de intercambio y de diálogo fundada en el Seminario de Ingeniería Biomédica, actividad académica semanal, dónde adquiere la forma de una asignatura de grado, luego ampliada a curso de posgrado y de actualización. Con el inicio de los proyectos de investigación concreta (inicialmente como tesis de estudiantes de ingeniería) y el seminario como actividad de enseñanza, se puede considerar cumplida la etapa de fundación del NIB.

## METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS INTERDISCIPLINARIO

En la actualidad, se ha puesto mayor énfasis, tanto en la esfera nacional (Cruz *et al.*, 2012; Vienni *et al.*, 2015) e internacional (Frodeman, 2014; Ledford, 2015; Lyall, Bruce, Tait & Meagher, 2010; O'Rourke & Crowley, 2013; Weingart, 2014), en la investigación interdisciplinaria y transdisciplinaria (Bammer, 2013; Pohl & Hirsch Hadorn, 2008) para abordar problemas multidimensionales que requieren de nuevos enfoques e interrelaciones. En este contexto, se presenta un tipo de conocimiento y un nuevo modo de producción del mismo (Frodeman, 2014) que se origina a través de la interconexión entre diversas disciplinas y la creación de nuevas miradas y conceptualizaciones.

A su vez, se ha generado un conjunto de investigaciones específicas sobre la temática que puede ser agrupado bajo el nombre de "Estudios Interdisciplinarios" (Repko, Newell & Szostak, 2011; Darbellay, 2015). Este campo de estudio "polimorfo" (Darbellay, 2015:163)<sup>2</sup> incluye a

<sup>2</sup> En América Latina proponemos denominar a este campo como "Estudios sobre Interdisciplina" (Vienni, 2016).

actores internacionales junto con redes interconectadas y complementarias<sup>3</sup>. Además de estas redes, resulta necesario resaltar el aumento en el volumen de publicaciones científicas – manuales, artículos y monografías - realizadas desde la década de los '70 que demuestran los avances de este campo de reflexión así como en el área de la enseñanza y la práctica (Frodeman *et al.*, 2010; Pohl & Hirsch Hadorn, 2008).

Sin embargo, estas redes y esfuerzos aún no dan cuenta del extenso desarrollo que el trabajo ID y TD ha tenido en los países de América Latina (Vasen & Vienni, en prensa) y en especial en Uruguay lo que forma parte de la justificación del presente artículo.

La complejidad del concepto de interdisciplina impone desafíos para su desarrollo. Las dificultades parecen deberse, específicamente, a la falta de un enfoque sistémico por parte de las estructuras universitarias (Rothen, 2004).

En el desarrollo de un proceso interdisciplinario se presentan múltiples tensiones propias del sistema académico. Enfocándonos en la producción de conocimiento a través de la ciencia académica (Ziman, 1985; 2003), y en el rol que juegan los investigadores, particularmente en este contexto, resulta fundamental que estos procesos de cambios y transformación se incorporen en el ethos científico (Merton, 1977), ya que éstos implican la construcción de nuevos paradigmas en la organización y producción del conocimiento. Estas transformaciones no se producen de manera lineal y uniforme como tampoco se desarrollan de igual manera en las distintas disciplinas.

A partir de lo anteriormente mencionado, se definieron los siguientes ejes para analizar y clasificar la interdisciplina en sus manifestaciones concretas:

1. las tres funciones universitarias (enseñanza, investigación y extensión)
2. la comunicación intragrupal
3. la interacción con otros actores
4. la complejidad de los problemas a resolver
5. la transferencia tecnológica

Por encima de estos componentes se debe destacar una continuidad de tres décadas que constituye, a la vez, un factor facilitador de concreciones y la consecuencia de los logros obtenidos. Sin esta continuidad sería más difícil

el estudio de los componentes que aquí se sistematizan. Algunos elementos del análisis serán limitados al grupo en estudio y otros podrán ser extrapolados como cimientos de reflexiones en torno al campo de la Ingeniería Biomédica. El presente análisis se centró en los documentos y los productos del equipo, así como en el material de campo obtenido a partir de entrevistas semi-estructuradas (Greckhamer, Koro-Ljungberg, Cilesiz & Hayes, 2008).

El NIB adoptó, desde su creación, la interdisciplina (National Academy of Science, 2005; Thompson Klein, 2005) como eje transversal al desarrollo de sus líneas de trabajo. Este núcleo nace como propuesta de superación del modelo de la “multidisciplina”. En el NIB se fomenta y asiste a un involucramiento cruzado de disciplinas que dejan su campo metodológico para adentrarse en la aventura de tratar una síntesis por el entendimiento del punto de vista o enfoque de la disciplina interlocutora.

A propósito del enfoque metodológico del NIB, el repensar las disciplinas involucradas en tanto culturas (Lattuca, 2001) enriquece la comprensión sobre el fenómeno de la interdisciplina al sugerir cómo cada tradición disciplinaria conlleva percepciones y comportamientos propios. El trabajo interdisciplinario consiste en una exposición mutua de “culturas” en la búsqueda de canales de comunicación y de comprensión que faciliten la producción de nuevos elementos. Esta observación es compatible con el análisis de Bauman (2002) que define las culturas como praxis.

Una vez que la exposición mutua permite la comunicación, el trabajo interdisciplinario implica el acceso a la esencia del problema a tratar desde las distintas culturas de cada disciplina. Profundizando la primera intuición, es necesario adentrarse en el terreno de la “otra” disciplina para entender y aportar a la identificación y solución del problema. La observación de los momentos de mayor trascendencia de las investigaciones demuestra que, en el principio de cada línea de trabajo interdisciplinario, hubo un momento de empatía y de intuición mutua que habilitó el estudio en común del tema a abordar. Los proyectos descritos más adelante así como las modalidades de enseñanza (ejercicios) son el resultado de impulsos iniciales de este tipo seguidos por el tránsito académico formal con frecuentes pasajes de una perspectiva a la complementaria.

## FUNCIONES UNIVERSITARIAS

Como colectivo de la Universidad de la República, el NIB ha desarrollado las tres funciones universitarias: investigación, enseñanza y extensión, hecho que también le imprime características propias al grupo y al trabajo

<sup>3</sup> Por ejemplo: Association for Interdisciplinary Studies, Network for Transdisciplinary and Interdisciplinary Research (INIT), Science of Team Science (SciTS), Td-net for Transdisciplinary Research e Integration and Implementation Sciences (IS2) (Bammer, 2005)

interdisciplinario. Estas tres funciones comparten interfaces que ayudan a concebir la labor interdisciplinaria en la integralidad de la actividad docente (Arocena, 2010; Tomasino & Rodríguez, 2010). Las funciones universitarias, además, aportan en su complementariedad a la construcción del diálogo y a los procesos de investigación y desarrollo de soluciones biomédicas.

Las actividades del núcleo comprenden: (1) la enseñanza directa mediante cursos y seminarios, (2) la investigación y desarrollo basados en la docencia de posgrado con sus tesis y los proyectos de fin de carrera, (3) los convenios y el asesoramiento a los departamentos básicos y clínicos de la Facultad de Medicina, (4) las relaciones interinstitucionales, publicaciones e intercambios y (5) la transferencia tecnológica a la industria.

### Enseñanza

El objetivo de enseñar una materia como la ingeniería biomédica y su naturaleza interdisciplinaria tiene consecuencias en el diseño de las instancias formativas del NIB. La modalidad adoptada por el núcleo puede sintetizarse a partir de los siguientes ejemplos:

a) *Es necesario que el estudiante de ingeniería biomédica sepa dialogar y entenderse con el médico clínico y con el investigador en fisiología*: La cultura, los hábitos de comunicación y de razonamiento de un ingeniero difieren de los del médico, cuya formación consiste en eficacias, procesos intelectuales y reflejos mentales diferentes. El NIB ha ideado un trabajo práctico de una asignatura de ingeniería biomédica que consiste en que los estudiantes de ingeniería enseñen a los médicos algunos elementos de análisis de señales. Los estudiantes deben recurrir a su formación teórica adaptándose al léxico y a los modelos mentales de sus alumnos-médicos. La evaluación posterior es hecha interrogando a los médicos, verificando de esta manera que el médico pudo asimilar los conceptos al cabo de una interacción interdisciplinaria. Con anterioridad al ejercicio, el médico no manejaba conceptos como el ancho de banda, la descomposición en frecuencias y la definición de “filtros de señales”, todos elementos que lo obligaron a transitar un camino disciplinario de la mano del estudiante de ingeniería. Este ejercicio ganó el segundo premio en un concurso de docencia de ingeniería emprendedora (Simini *et al.*, 2013)<sup>4</sup> y fue probado por primera vez en el año 2013.

<sup>4</sup> El concurso de ejercicios “Competencias emprendedoras en las Ingenierías” es un certamen internacional dirigido a profesores de todas las carreras de ingeniería de Argentina, Brasil, Chile y Uruguay. Este Concurso es organizado por el Programa Regional de Emprendedorismo e Innovación en Ingeniería (PRECITYE) y la

Las cuatro instancias anuales que ya lleva esta asignatura práctica indican que los médicos la viven con interés siendo una experiencia esperada por la generación de aspirantes al concurso de docentes ayudantes (grado 1) del departamento de fisiopatología. La evaluación “cruzada” verifica que se hayan dado las primeras instancias de un trabajo interdisciplinario. Los ejemplos del análisis de señales que se manejan son extraídos de la fisiología -donde el médico se siente cómodo- y sobre los cuales aplica definiciones, conceptos y métodos de análisis “ingenieril” que descubre.

b) *La formación de la sensibilidad, del lenguaje y de la capacidad resolutive del ingeniero biomédico debe hacerse en hospitales*: Como resultado de las experiencias de los estudiantes de ingeniería en hospitales surgió la propuesta del Internado de Ingeniería Biomédica (IIB). El IIB consiste en una pasantía de seis meses durante la cual el estudiante -guiado por docentes- permanece 44 horas semanales en un hospital. La exposición a los problemas de gestión de los equipos biomédicos, a las roturas inesperadas de instalaciones y a las necesidades de conocimiento y de apoyo técnico del personal (dirección, enfermería y médicos), son disparadores del intercambio y de la formación interdisciplinarios. Se construye, de esta manera, el diálogo que acompaña las soluciones a los problemas de gestión de equipamiento en consulta con los docentes del NIB. El beneficio del IIB es doble ya que, por un lado, con un mínimo de preparación previa en ingeniería biomédica, los estudiantes-pasantes ayudan a detectar los problemas de manejo y de uso de los equipos biomédicos, mientras que, por otro, se benefician de la posibilidad de aprender el léxico, los objetivos asistenciales y la particularidad del manejo de equipos y de instalaciones en un hospital (Simini, León Moloney & De Giobbe, 2015).

c) *La capacidad de diálogo interdisciplinario se construye mediante la formulación y ejecución conjunta de proyectos de tesis o de fin de carrera de estudiantes de disciplinas diferentes*: El “proyecto interdisciplinario de registros informáticos médicos” (PIRIM) consiste en una actividad inédita en la Escuela Universitaria de Tecnología Médica y en la Facultad de Ingeniería. Involucra a tres estudiantes de la licenciatura de Registros Médicos (RRMM) y a tres estudiantes de computación, todos preparando su trabajo final llamado monografía o proyecto de grado, respectivamente. Los seis estudiantes trabajan juntos, intercambiando necesidades y opciones informáticas, hasta

iniciativa es auspiciada por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), cuyo objetivo es incentivar el diseño y creación de conjuntos de ejercicios y/o intervenciones pedagógicas transversales que promuevan el fomento del emprendedorismo y la innovación en la formación de grado en carreras de ingeniería.

definir un proyecto con su alcance, sus características, su modalidad de uso y de verificación. Se trata de desarrollar una agenda para la consulta médica, una historia clínica electrónica, un sistema de terminología controlada o de supervisión de la adherencia a la medicación. Todo derivado de los estudios y de la realidad laboral que están empezando a conocer los estudiantes de la licenciatura en RRMM. Los estudiantes de ingeniería reciben enseñanzas interdisciplinarias de tutores de ambas disciplinas, además de lo que aprenden del contacto con estudiantes de RRMM. Simétricamente los estudiantes de RRMM reciben enseñanza de especificación de sistemas informáticos y guía por parte de los estudiantes de computación, simulando entre los seis una situación de cliente - proveedor de soluciones de informática médica (Simini *et al.*, 2001). Hasta ahora los estudiantes recibían opciones de tesis ya redactadas por los docentes. Con PIRIM, tienen que pensar en conjunto en un trabajo interdisciplinario que recibe la aprobación de los docentes luego de un mes de trabajo. El prototipo informático producido al cabo de seis meses debe ser probado por los estudiantes de RRMM que certifican que se cumple con lo planteado.

d) *Maestrías con formaciones cruzadas del estudiante y del tutor principal*: Las maestrías que se desarrollan en el NIB dan cuenta de la actividad interdisciplinaria con variedad de enfoques confluyendo en formaciones académicas para el estudio de problemas complejos. La Tabla 1 describe la formación original de los estudiantes y de sus tutores de las tesis iniciadas en el período 2013-2014. El grado de interdisciplina está dado por la diversidad de formaciones de docentes y estudiantes involucrados.

**Tabla 1.** Formación del estudiante, tutor y cotutor en el período 2013-2014 en el NIB

Prototipos	Formación estudiante	Formación tutor	Formación cotutor
LAVESPI	Ingeniería	Ingeniería	Medicina
IMPETOM	Ingeniería	Ingeniería	Matemática
CINARTRO	Fisioterapia	Medicina	Ingeniería
SALTAYUDA	Ingeniería	Ingeniería	Medicina
IMPETOM-2	Medicina	Medicina	Ingeniería
DIABEPOT	Ingeniería	Ingeniería	Física

La Tabla 2 ilustra la evolución del promedio quinquenal de docentes que actuaron en el NIB desde su creación. El aumento de docentes en el quinquenio 1999-2003 es consecuencia de los llamados a cargos docentes para reforzar la estructura por parte de la Universidad y consecuencia de un *full time* geográfico del coordinador del NIB que aseguró

una presencia permanente y la captación a lo largo del día de problemas y propuestas de estudio desde los servicios clínicos<sup>5</sup>. La proporción de docentes no ingenieros, y por lo tanto activos en el proceso de construcción interdisciplinaria, osciló entre 50% inicialmente hasta el 35% en los últimos períodos. Este aumento de docentes en formación tiene su explicación en la elevada oferta de empleo para ingenieros biomédicos en el país. Por otro lado, el aumento de la cantidad de ingenieros miembros del núcleo es consecuencia de la demanda por parte de los grupos clínicos o básicos/clínicos del Hospital de Clínicas que plantean problemas y líneas de investigación a las cuales se pueden integrar.

La enseñanza directa, que en 30 años pasó de los talleres mensuales sobre el uso del Sistema Informático Perinatal (SIP) (Simini, 1999) hasta la situación actual (multiplicada por un factor de 5) de dos horas todos los días del año es coherente con la cantidad de docentes activos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Promedio de los docentes del NIB por quinquenio y porcentaje docentes no – ingenieros

	total	1984-88	1989-93	1994-98	1999-2003	2004-08	2009-13
Media docente	3.4	2.0	2.0	2.8	4.0	4.6	5.4
Docentes no ingenieros		50%	50%	36%	25%	20%	35%

Los cursos que brinda el NIB han evolucionado desde un seminario inicial inaugurado en el año 1992 donde se muestran aplicaciones, problemas, soluciones y proyectos siguiendo la alternancia de puntos de vista interdisciplinarios. En el año 2015, el colectivo dicta 10 asignaturas (Tabla 3) y un internado de práctica en hospitales. Para favorecer la incorporación de saberes interdisciplinarios, los cursos se dirigen a perfiles diferentes, en ocasiones complementarios, construyendo interdisciplina en los intercambios derivados de las propias asignaturas. El hecho de que se trate de cursos de fin de la carrera de Ingeniería Eléctrica, en Computación, Medicina u otras, permite que sean dictados en conjunto para estudiantes de grado, de postgrado y de actualización profesional, enriqueciendo aún más el entorno de aprendizaje variado en experiencias disímiles.

### Investigación

El NIB realizó unos 70 proyectos entre los años 1984 y 2014, 46 de los cuales se desarrollaron en los últimos quince

<sup>5</sup> Nuevamente se nota la importancia de la ubicación del NIB en el tejido del hospital universitario.

años (Tabla 4) (Simini, 2015). Cada proyecto consiste en un instrumento o un programa de uso médico, sometido a la prueba práctica por parte del grupo clínico que ayudó a definirlo. Todos los proyectos poseen un aspecto inédito en el conjunto de la oferta comercial mundial de equipos biomédicos dado que el NIB no emprende la duplicación o la ingeniería inversa de equipos existentes. El conjunto de docentes asociados a los proyectos comprende al grupo que compartió la definición de los objetivos del instrumento o del programa a desarrollar. Dicho conjunto pertenece a, por lo menos, dos áreas académicas diferentes, típicamente ingenieros eléctricos o en computación por un lado y médicos clínicos, por el otro. De acuerdo al tipo de proyecto desarrollado fueron incorporados docentes de diseño industrial, física médica y rehabilitación, físicos y químicos.

**Tabla 3.** Cursos y Seminarios propuestos por el NIB en el año 2015

Asignatura	Crédito <sup>6</sup>	Dirigido a:
Seminario de ingeniería biomédica	4	Amplio espectro
Ingeniería biomédica	8	Ingenieros eléctricos
Imágenes Médicas	8	Ingenieros y médicos imagenólogos
Internado de ingeniería biomédica	18	Ingenieros eléctricos o computación
Ingeniería clínica	8	Ing. mecánicos, eléctricos, en computación y Tecnólogos
Electricidad y electrónica de equipos biomédicos c/ seguridad	6	Estudiantes EUTM <sup>7</sup> o PROINBIO <sup>8</sup>
Informática y manejo de imágenes médicas	6	EUTM o PROINBIO
Informática médica	6	Estudiantes de medicina
Nomenclatura clínica y consulta médica	6	Ingenieros
Seminario de informática en salud	6	Amplio espectro
Gestión de proyectos informáticos en salud	5	Amplio espectro

<sup>6</sup> En la Universidad de la República un “crédito” equivale a 15 horas de estudio o asistencia a clase

<sup>7</sup> Escuela Universitaria de Tecnología Médica (UdelaR)

<sup>8</sup> Programa de Investigación Biomédica (Programa de posgrado del área médica de la Universidad de la República)

**Tabla 4.** Proyectos del NIB por quinquenio para el período 1984-2014

	total	1984-88	1989-93	1994-98	1999-2003	2004-08	2009-13	2014
proyectos (n=)	70	8	8	8	12	9	13	12

El crecimiento en el número de proyectos realizados de los últimos años responde a una demanda de soluciones técnicas sugerida por el momento tecnológico favorable al aumento del número de estudiantes de ingeniería que se interesan en temas biomédicos y a la creación del “perfil biomédico” en la carrera de Ingeniería Eléctrica. Factor determinante es también la creciente demanda de soluciones por parte del cuerpo médico que se conforma cada vez menos con la oferta comercial e intenta plasmar en instrumentos adecuados ideas y sueños derivados de la clínica.

Algunos de estos proyectos intentaron la vía de la transferencia tecnológica y dos de ellos lograron ser comercializados (denominados BiliLED y MECVENT), confirmando la proporción esperada de que uno en diez intenta la vía comercial, de los cuales uno en diez tiene éxito (Simini, 2015). La financiación de estos proyectos se basa en el personal docente de la UdelaR que ejecuta fondos extrapresupuestales obtenidos de convenios para la compra de elementos tecnológicos. La proporción de recursos obtenidos mediante servicios relacionados, subvenciones ganadas y apoyos estatales puede estimarse en un 75% proveniente de la Universidad y el resto de fuentes externas de la sociedad y de entes estatales.

Fuertemente relacionado con el número de proyectos, las publicaciones en revistas y congresos se detallan en la Tabla 5. De las 40 publicaciones (29 en los primeros 25 años, o sea 1.2 por año) las 11 más recientes fueron en el último quinquenio (2.2 por año) lo que refleja el énfasis puesto en difundir los resultados de las investigaciones y en formar docentes en la tarea de publicar. Este cambio hacia la producción de artículos es el resultado de la política de investigación influenciada por las directivas del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) que resaltan la producción bibliográfica por sobre otras formas de evaluación. La Tabla 5 además muestra el detalle de las sub-áreas de la actividad científica realizada desde las historias clínicas al desarrollo de instrumentos clínicos de especialidades médicas.

**Tabla 5.** Publicaciones por sub-área de los prototipos descritos por quinquenio en el período 1984 – 2014

	total	1984-88	1989-93	1994-98	1999-2003	2004-09	2010-14
<b>Publicaciones totales</b>	40	8	8	4	6	3	11
<b>Respiratorio</b>	7	1	2	2	0	0	2
<b>Medicina intensiva</b>	3	0	0	0	0	0	3
<b>Imagenología</b>	1	0	0	0	0	0	1
<b>Informática médica</b>	16	4	5	1	5	0	1
<b>Instrumentación</b>	13	3	1	1	1	3	4
<b>Ingeniería clínica</b>	6	1	1	1	1	2	0

Incluidas en las actividades del NIB se encuentran la investigación y proyecto de sistemas informáticos de historias clínicas. Esta línea de trabajo se inició cuando, en el año 1980, hubo un reconocimiento por parte de los gestores de la salud materno-infantil de América Latina sobre la carencia de datos de situación sanitaria y de los resultados de la atención para tomar decisiones en ese ámbito. En muchas maternidades de América Latina y el Caribe no se registraban datos de embarazo y puerperio inmediato, dificultando la evaluación de resultados y la incorporación de normas de atención. La misma falta de información repercutía en el nivel central donde las decisiones de salud pública no podían basarse en estadísticas. Los mecanismos de “declaración obligatoria” de muertes al estilo tradicional y de estudio a posteriori de tendencias sanitarias no eran adecuadas para las políticas gubernamentales de reducción de mortalidad materna y neonatal. Frente a esta situación, el equipo interdisciplinario acudió al uso de herramientas informáticas desarrolladas para otras disciplinas (como fue el cálculo de canales de riego y la simulación dinámica de embalses de agua), lo que permitió proponer un sistema novedoso (Díaz *et al.*, 1990; Simini, 1999; Simini, Píriz & Scarone, 2004). De esta forma, fue desarrollado el Sistema Informático Perinatal (Díaz *et al.*, 1990), realidad socio-tecnológica interdisciplinaria difundida hoy en toda América Latina y el Caribe para dirigir la atención médica, entrenar personal “en servicio” y realizar investigación epidemiológica relacionada con la salud materno-infantil.

El anexo 1 muestra una lista de los prototipos desarrollados y probados en la clínica. Su reproducción en extenso tiene la finalidad de difundir el abanico de funciones que la interdisciplina permite abordar y solucionar como aquellos problemas de índole social.

## Extensión y actividades en el medio

La tarea de extensión es intrínseca a la labor universitaria y en la frontera entre ingeniería y medicina no podía ser de otra manera. La sociedad demanda aclaración, cooperación y propuestas fuera de la enseñanza o formación de ciudadanos. Se trata de participación y aprendizaje mutuos protagonizados por igual por la contraparte y el grupo universitario. A continuación se brindan dos ejemplos de extensión llevados a cabo recientemente:

(1) La construcción y alhajamiento de hospitales en Uruguay fue tradicionalmente un emprendimiento encarado por etapas sucesivas e independientes. Primero se planifica y construye la obra civil y luego, una vez entregada ésta, se procede a la elección y distribución de los equipos y de las instalaciones. Por primera vez, en el año 2013, se decide trabajar en conjunto para que la selección de equipos biomédicos se beneficiara no solamente de criterios de buena compra y previsión eficiente de mantenimiento sino, además, de una realización oportuna, con tiempo para modificar estructuras en fase de proyecto logrando el mejor uso y disposición espacial y funcional. La tarea de extensión fue definida en conjunto con la Administración de Servicios de Salud del Estado (ASSE) para la ampliación del Hospital Pasteur en Montevideo. El trabajo consistió en la definición de necesidades de equipamiento en conjunto entre ingenieros biomédicos y directores de los servicios involucrados (emergencias, block quirúrgico y centro de materiales). La elaboración mancomunada de especificaciones, conexiones, pruebas de concepto y evaluaciones de soluciones conlleva un resultado que se espera mejore el diálogo y reduzca los malentendidos. A su vez, esta experiencia está siendo registrada para configurar un módulo docente en ingeniería clínica, con pautas de selección de equipamiento y de instalaciones para hospitales.

(2) El segundo ejemplo de extensión universitaria está relacionado con la necesidad de los hospitales de asesoramiento técnico en equipos biomédicos y en la gestión de su mantenimiento, muy a menudo confiada a terceros identificados con los proveedores. El NIB ha creado una instancia de formación práctica, el Internado en Ingeniería Biomédica, ya mencionado en ocasión de la oferta formativa (Simini *et al.*, 2015). No es posible separar la enseñanza de la IB de su práctica una vez que se logra en el estudiante un nivel mínimo de conocimientos. Su permanencia en el hospital tiene múltiples efectos: (a) sobre la seguridad eléctrica y laboral en el uso de equipamiento biomédico, (b) en la detección temprana de desperfectos en las redes de datos o eléctricas, (c) en la formación del



personal clínico, (d) en la disponibilidad de equipos en operación acortando los tiempos fuera de uso, (e) en la detección de necesidades instrumentales derivadas de la práctica clínica y (f) en el uso de equipos que llegan al fin de su vida segura, entre otros.

## COMUNICACIÓN INTRAGRUPAL

Construir conocimiento científico es dar significado a las prácticas académicas e implica un proceso comunicativo compartido (Regeer & Bunders, 2009) que puede derivar en la conformación de una cultura académica particular (Becher, 1989). En este contexto, el conocimiento científico es entendido como una construcción social influenciada por circunstancias culturales, económicas, políticas, entre otras (Gibbons *et al.*, 1994; Ziman, 2003).

El trabajo creativo del NIB nace con la formulación algo confusa y provisoria de una necesidad instrumental derivada de la práctica clínica: varios prototipos e ideas surgen del diálogo que se instala cuando el médico expresa su problema en forma incompleta tratando de hacerse entender. Ese gesto parcial e inicial es continuado por la comprensión del objetivo que, al resonar en una caja de posibilidades técnicas, encuentra un lugar. La expresión tentativa -pero teóricamente sólida- del problema se acerca a la propuesta técnica interdisciplinaria.

La creación de un lenguaje común es prioridad del trabajo del NIB. Mediante la alternancia de conferencias con enfoques médico, biológico, técnico-instrumental y técnico-modelado se expone al estudiante del Seminario de Ingeniería Biomédica a un lenguaje que se va armando a lo largo de los semestres de formación. La interdisciplina está presente en la elaboración por parte de los docentes y en el grupo de estudiantes que, mediante la enseñanza horizontal entre médicos e ingenieros, logra la sensibilidad profesional mixta. Sobre el modelo del seminario se crearon otras tres asignaturas en lo electrónico-instrumental (Ingeniería Biomédica y luego Imágenes médicas y Seguridad eléctrica de equipos biomédicos) y otras tres en informática médica (Seminario de Informática en Salud, Nomenclatura Clínica e Informática e Imágenes Médicas) referidas en la Tabla 3.

## INTERACCIÓN CON OTROS ACTORES SOCIALES: REDES INTERINSTITUCIONALES

Como ejemplos de nexos con otras instituciones, SALUADO (Salud del Adolescente) es una propuesta de red interdisciplinaria que aborda el tema de la salud adolescente con elementos médicos, de psicología, telecomunicaciones, ergonometría e informática de

instituciones de seis países. Dado que la adolescencia es un período de la vida caracterizado por aspectos de muy diverso abordaje (psicología, medicina, sociedad, modas, educación, seguridad en accidentes, etc.) sería difícilmente concebible un sistema que fuera proyectado fuera de un entorno interdisciplinario. SALUADO representa la síntesis de un sentir expresado por aspiraciones concretas que se van combinando paulatinamente a medida que el significado de lo que cada disciplina postula es entendido e internalizado por las otras.

Por su parte, SIVAN es el Sistema de vigilancia alimentaria y nutricional. Enfoques múltiples llevaron a proponer una autopista común para que todos los sistemas de estudio, intervención y monitoreo de la nutrición de madres y recién nacidos en Ecuador compartieran datos básicos de cada persona y de cada efector (policlínica, escuela, hospital, guardería u ONG). Este análisis permite la creatividad y los múltiples aportes sin el encorsetamiento de soluciones microscópicas difíciles de llevar a cabo. El enfoque no fue solamente “médico-epidemiológico” que tiende a la cobertura total de la población y a la centralidad de los datos. Tampoco se trató de diseñar un sistema de logística tradicional. En cambio, SIVAN fue una propuesta entre los años 2008 y 2010 de unir, en un sistema articulado, elementos de historia clínica electrónica, formación en servicios, indicadores de gestión y los mencionados aspectos de logística y epidemiología.

## LA COMPLEJIDAD DE LOS PROBLEMAS

La complejidad se da en un número creciente de actividades que juegan un papel importante en la producción del conocimiento. En el caso analizado, estas actividades incluyen a las redes interdisciplinarias, los préstamos, los intereses compartidos, las comunidades de aprendizaje de las facultades (medicina, ingeniería, enfermería, entre otras) y la participación en campos interdisciplinarios, por ejemplo en clusters informales. La aparición de nuevos campos también demuestra el desarrollo de la creciente complejidad del conocimiento (Bruun, Hukkinen, Huutoniemi & Thompson Klein, 2005). Desde el NIB se asiste a la aparición de nuevas asociaciones con otras especializaciones de la medicina luego de las primeras socias académicas como fueron la fisiopatología (por su estudio básico de los fenómenos físicos, químicos y biológicos del cuerpo humano). La Tabla 6 muestra la evolución de la diversidad de cátedras y departamentos que se asocian al NIB para investigar elementos de su interés, ya no en solitario pero en conjunto.

**Tabla 6.** Cantidad de especialidades médicas asociadas al NIB por quinquenio para el período 1984 – 2014. Fuente: elaboración propia de los autores

	1984-1988	1989-1993	1994-1998	1999-2003	2004-2008	2009-2013	2014
Especialidades médicas	2	2	3	5	9	11	12

El crecimiento de los últimos años responde a una disponibilidad de soluciones tecnológicas a las cuales acceden los investigadores para resolver problemas de una diversidad en aumento. El clínico recurre a la interdisciplina y el ingeniero propone nuevas soluciones como consecuencia de la existencia de una práctica integral y de antecedentes de respuestas aceptadas. Se obtiene, de esta manera, la materialización del deseo del clínico gracias a los aportes tecnológicos del ingeniero biomédico. El prototipo puede ser ensayado con elementos de prueba y hasta clínicamente con los recaudos de seguridad previstos en la praxis y por la ley.

### TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

El NIB siente la necesidad de transferir la tecnología desarrollada al sector productivo. Luego de experiencias dispares, la estrategia es buscar empresas ya sólidas que puedan adoptar algún producto que el NIB licencie para su producción.

La Ingeniería Biomédica, o sea los prototipos que fueron desarrollados por el NIB, responden a una necesidad tecnológica expresada en el entorno clínico. El uso de la tecnología, luego de su eventual consolidación y validación, pasa por una difusión que es sinónimo de adopción industrial. Por lo tanto, el epílogo de la investigación interdisciplinaria llama a otro diálogo de aspectos interdisciplinarios: el de la protección intelectual y el de la adopción del prototipo inicial por el taller en su camino hacia el instrumento industrial (Simini, 2013; 2015).

### INGENIERÍA BIOMÉDICA Y SOCIEDAD

La Ingeniería Biomédica acompaña un estado de madurez y difusión de la asistencia médica que se asocia con el ensanchamiento de la base social que se beneficia de ella. Desde el año 1946, la salud es considerada como un derecho humano, a diferencia de lo que sucedía en épocas anteriores en que era una casualidad, un lujo o una condición inestable y precaria (Organización Mundial de la Salud 1946). La creciente importancia de la salud en la sociedad deriva de la disponibilidad de riquezas en aumento, consecuencia de la mayor eficiencia extractiva y de explotación de poblaciones remotas. Integrando un sector “Salud” que llega a gastar el

10% del PBI de los países ricos, la Ingeniería Biomédica multiplica su importancia en la sociedad. Porciones cada vez mayores de las poblaciones han tenido contacto o se han beneficiado de la medicina moderna que, a su vez, utiliza productos de IB. Se reconoce entonces un ámbito de fortalecimiento del vínculo entre tecnología y sociedad a partir, entre otros, del desarrollo de la IB como área interdisciplinaria. En este sentido, la Ingeniería Biomédica aporta elementos concretos al diálogo interdisciplinario en la sociedad, a la complejidad y capacidad de resolución de problemas que atañen a una mayor calidad de vida así como a la consolidación de prácticas que promueven el desarrollo interdisciplinario.

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Del camino recorrido por el NIB se observa que se adecúa al momento tecnológico explosivo en propuestas y novedades. Este núcleo, como expresión de fuerza innovadora e integradora, asume paradigmas de interdisciplina (Thompson Klein, 2005) al aparecer en un momento histórico en el que es posible romper con siglos de profundización disciplinaria de la ciencia, condicionada por limitaciones de herramientas y de recursos teóricos y materiales de cada repartición intelectual. Naturalmente abierta, la mente humana tiende a establecer asociaciones libres y a ejercer la creatividad propia del ser autónomo. La característica de nuestra sociedad occidental de tender hacia niveles de eficiencia cada vez mayores ha impulsado el paradigma de la especialización disciplinaria. Resulta innegable que ha dado sus frutos derivando en una nueva situación y un nuevo equilibrio en los cuales nos encontramos y que nos permite desarrollar y practicar la interdisciplina. Al aumentar la profundización y multiplicidad de especialidades surge su potencial de asociación y diálogo fecundo. La especialización disciplinaria fue, de alguna manera, condición para dar lugar a su propia negación y superación en un movimiento dialéctico que es materia para futuras investigaciones (Ostreng 2010).

La realidad científico tecnológica actual –resultado de las hiper-especializaciones- ofrece recursos bibliográficos y de memoria científica, recursos materiales para la integración y recursos teóricos de tal magnitud que no es necesario “disciplinar” la actividad profesional. Esta abundancia y consiguiente libertad contrasta con la era “disciplinar” en la cual la eficacia y robustez de los métodos y procedimientos dependía de su número acotado. Con la interdisciplina entendida como superación dialéctica de las disciplinas altamente desarrolladas por separado, la creatividad logra abarcar niveles cada vez mayores de realizaciones adaptadas a las necesidades planteadas.

Este estudio podría servir de base para la toma de decisiones en el ámbito de la Ingeniería Biomédica desde lo institucional, la modalidad de trabajo, los puentes a tender hacia la sociedad y la relación con el estudiantado así como para la formulación de planes y metas para el futuro. Estos elementos son particularmente relevantes dado que promueven u obstaculizan la producción de conocimiento interdisciplinario en contextos universitarios con la participación de actores extra-académicos, tal como demostró el presente análisis.

En particular, se puede resumir la metodología básica de trabajo de estos treinta años en los siguientes pasos. Identificado un problema de diagnóstico, terapia o prótesis de la clínica, conformado un grupo de estudio interdisciplinario, se consulta la oferta similar existente en el comercio y en la literatura científica hasta especificar un objetivo concreto, factible y acotado financieramente. A partir de la obtención de la financiación, se constituye un equipo de trabajo ampliado con estudiantes, clínicos y eventualmente, industriales para la ejecución, por un lado, de la investigación y desarrollo y, por otro, la investigación necesaria (fisiológica, instrumental o metodológica).

Por el hecho de representar cada prototipo el resultado de una investigación interdisciplinaria y por lo tanto también técnica, incluye novedades tecnológicas como, por ejemplo, el uso precursor de los LEDs para iluminar un recién nacido durante la fototerapia plasmado en el BiliLED (Simini, 2013) (Tabla 6).

Para consolidar la competitividad a nivel Latinoamericano de las metodologías propuestas por el NIB, se podrían considerar los siguientes aspectos de estudio:

a) La sociedad actual puede dedicar recursos importantes a las soluciones técnicas referidas a la salud que anteriormente eran consideradas superfluas. De la misma manera podría ser analizada la educación en detalles interdisciplinarios, luego de un enfoque tradicionalmente limitado.

b) La interacción interdisciplinaria como valor colectivo, anteriormente relegado al ámbito de las curiosidades o de la desconfianza mutua, hoy es aceptado y valorado en forma creciente.

c) La experiencia interdisciplinaria adquirida puede tornarse relevante no solamente como valor en la formación profesional sino como actitud como ciudadano en todos los ámbitos cotidianos. Esta apertura al encuentro con otras disciplinas y, por qué no, con otros saberes, puede coadyuvar a desarrollar prácticas más democráticas para la construcción del conocimiento (Vienni, 2014).

Hemos asistido a los efectos de condiciones sumamente favorables de competencia controlada académicamente que exigió un nivel de calidad “disciplinar” a cada actor, ya sea de ingenieros o de médicos. También vimos florecer la incertidumbre del inicio interdisciplinario en cada aventura de pesquisa basada en necesidades, intuiciones, métodos dispares y en el diálogo. En una palabra, el diálogo interdisciplinario. Estas condiciones favorables permitieron que exista el NIB, grupo de ingenieros y médicos ubicados en el Hospital Universitario, alejado del común ingenieril y diferente del ordinario clínico. Esta experiencia se unió a otras del mismo tenor, presentes en la Universidad de la República, como la carrera de Ingeniería en Alimentos, el Centro Interdisciplinario de Infancia y Pobreza, los grupos de estudio del cambio climático, la vejez y el envejecimiento (Vienni *et al.*, 2014), para dar vida a una de las realizaciones más originales como es el Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República, fruto de la Segunda Reforma Universitaria (Arocena, 2010).

## REFERENCIAS

- AROCENA, R. (2008). “Presentación”. En Espacio Interdisciplinario, Jornada de Presentación. Editado por el equipo de Rectorado de la Universidad de la República. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República, Montevideo. Documento accesible [www.ei.udelar.edu.uy](http://www.ei.udelar.edu.uy).
- AROCENA, R. (2010). “Prólogo. Curricularización de la extensión: ¿por qué, cuál, cómo?”. En Cuadernos de Extensión N°1. Integralidad: tensiones y perspectivas. Editado por el Servicio Central de Extensión y actividades en el medio, Universidad de la República, Montevideo, 7-17.
- BAUMAN, Z. (2002): La cultura como praxis. Madrid: Editorial Paidós.
- BECHER, T. (1989). Academic Tribes and Territories. Intellectual enquiry and the cultures of disciplines. The society for Research into Higher Education. Buckingham: Open University Press.
- BERETTA, A. (2006). Roberto Caldeyro Barcia el mandato de una vocación. PEDECIBA/Trilce, Montevideo.
- BROWN, A.G.A., SHI, Y., MARZO, A., STAIU, C. , VALVERDE, I., BEERBAUM, P., LAWFOR, P., HOSE, D. (2012). Accuracy vs. computational time: Translating aortic simulations to the clinic. Journal of Biomechanics 45(3), 516-523.

- BRUUN, H., HUKKINEN J., HUUTONIEMI K., THOMPSON KLEIN, J. (2005). Promoting Interdisciplinary Research: The case of the Academy of Finland. Helsinki.
- CALDEYRO-BARCIA, R; POSEIRO, J.J. *ET AL.* (1960). Physiology of the Uterine Contraction. *Clinical Obstetrics Gynecology*, 3(2), 386 – 410.
- CRUZ, P., B. VIENNI, X. AGUIAR Y L. REPETTO (2012). “Apuntes para la caracterización del trabajo interdisciplinario en la Universidad de la República”. En C. Martínez Debat (compilador), *Interdisciplina en el estuario. Saberes orilleros*, Revista Digital de la Universidad Nacional de México, Vol. 13, Nº 5, documento electrónico en <http://www.revista.unam.mx/>. Accedido junio 2013.
- CRUZ, P., REPETTO L. Y VIENNI, B. (2013). Situación de la interdisciplina en la Universidad de la República (2009–2011). En Seminario En Clave Inter: Procesos, contextos y resultados del trabajo interdisciplinario, pp. 29-40. Montevideo: Espacio Interdisciplinario.
- DARBELLAY, F. (2015). “Rethinking inter- and transdisciplinarity: Undisciplined knowledge and the emergence of a new thought style”. *Futures* 65 (2015), 163 – 174.
- DÍAZ A.G.; SCHWARCZ R.; DÍAZ ROSSELLO J.L.; SIMINI F.; GIACOMINI H.; LÓPEZ R.; MARTELL M.; FESCINA R.H.; DE MUCIO B.; MARTÍNEZ G. (1990). Sistema informático perinatal. *Revista Médica Uruguaya*, 6, 75-83.
- FRODEMAN, R. (2014). Sustainable knowledge. A theory of interdisciplinarity, Nueva York: Palgrave Pivot.
- GIBBONS, M., LIMOGES C., NOWOTNY H., SCHWARTZMAN S., SCOTT P., TROW M. (1994). The new production of knowledge. The dynamics of science and research in contemporary societies. Londres: Sage Publications.
- GRECKHAMER, T., KORO-LJUNGBERG, M., CILESIZ, S. AND HAYES, S., (2008). Demystifying Interdisciplinary Qualitative Research. *Qualitative Inquiry*, 14(2): 307- 331.
- LATTUCA, L. (2001). Creating Interdisciplinarity. Interdisciplinary Research and Teaching among College and University Faculty. Nashville: Vanderbilt University Press.
- LEDFORD, H. (2015). “Team Science”. En *Revista Nature* Vol. 525, 17 September 2015, pp. 308– 311, 2015. Documento electrónico disponible en: [Nature.com/inter](http://Nature.com/inter). Accedido en setiembre de 2015.
- LYALL, C., BRUCE A., TAIT J., MEAGHER L. (2010). *Interdisciplinary Research Journeys. Practical strategies in capturing creativity*. Estados Unidos: Bloomsbury.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (2005). *Facilitating Interdisciplinary Research. Committee on Facilitating Interdisciplinary Research. Science, Engineering & Public Policy*. Washington: The National Academy Press.
- O’ROURKE, M. Y CROWLEY, S. (2012). “Philosophical intervention and cross- disciplinary science: the story of the Toolbox Project”, *Synthese*, online No. 13, Springer.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (1946). Constitución de la OMS. Documento electrónico disponible [http://www.who.int/governance/eb/who\\_constitution\\_sp.pdf](http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_sp.pdf). Accedido marzo 2015.
- OSTRENG, W. (2010). *Science without boundaries. Interdisciplinarity in research, society and politics*. University Press of America. Reino Unido: Plymouth.
- POHL, C. Y G. HIRSCH HADORN (2007). Principles for designing transdisciplinary research. Swiss Academies of Arts and Sciences, Munich: Oekom Verlag.
- REGEER, B. Y J. BUNDERS (2009). Knowledge co-creation: interaction between science and society: A transdisciplinary approach to complex societal issues. VU University Amsterdam – Athena Institute. Documento electrónico disponible en: <http://www.falw.vu.nl/nl/onderzoek/athena-institute/>. Accedido en marzo de 2012.
- REPKO, A., W. NEWELL Y R. SZOSTAK (editores) (2011). *Case studies in interdisciplinary research*. California: Sage Publications.
- ROTHEN, D. (2004). “Research: Trend or Transition”. Documento electrónico en [www.ncar.ucar.edu/Director/survey/Interdisciplinary%20Research%20Trend%20or%20Transition.v2.pdf](http://www.ncar.ucar.edu/Director/survey/Interdisciplinary%20Research%20Trend%20or%20Transition.v2.pdf) [http://publications.ssrc.org/items/items\\_5.12/interdisciplinary\\_research.pdf](http://publications.ssrc.org/items/items_5.12/interdisciplinary_research.pdf), consultado en junio de 2015.

- SIMINI, F. (1994). XXI century biomedical engineering in Latin America: top quality or disappear. *Physics in Medicine and Biology*; 39(1), 240, 1994. Presentado en: World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering; Río de Janeiro, 21-26 Aug. 1994.
- SIMINI, F. (1999). Perinatal information system (SIP): a clinical database in Latin America and the Caribbean. *The Lancet*, 354: 75.
- SIMINI F. (2013). Technology Transfer Of Biomedical Equipment In Uruguay: Lessons Learned. VI Bioengineering Congress "Human Welfare", Kuşadası, TURKEY, 12-15 November 2013.
- SIMINI, F. (2015). Technology transfer of biomedical equipment: from bedside to Academia and to industry to meet clinical needs as detected by research. Tutorial IEEE I2MTC Congress Pisa, Italia.
- SIMINI, F., NIETO F., CANETTI R., TONARELLI P., RUGGIA R., RANDALL G. (2001). Ingeniería biomédica e informática médica: una nueva especialización en Facultad de Ingeniería. *Revista Ingeniería*, (2): 21-4.
- SIMINI, F.; HAIM, F.; LOBO, J.; GONZÁLEZ, S. (2003). Biomedical Prototype Development in Uruguay: 15 years and lessons learned. En WC2003 Sydney, Australia.
- SIMINI, F., PÍRIZ, H., SCARONE, C. (2004). Proyectos de Ingeniería Biomédica Tecnologías desarrolladas en la Universidad disponibles para el país. *Revista Asociación de Ingenieros del Uruguay*, 16-21.
- SIMINI, F.; GEIDO, D.; LOBO, J.; RADESCA, E., SANTOS, E. (2015). Detectando oportunidades de ingeniería en la práctica médica. Ingenieros Emprendedores, Programa Regional de Emprendedorismo e Innovación en Ingeniería. Documento disponible en [http://www.ingemprendedores.org/upload/articles/85\\_50-interdisciplinal-detectando5\\_50--interdisciplinal-detectandodica.pdf](http://www.ingemprendedores.org/upload/articles/85_50-interdisciplinal-detectando5_50--interdisciplinal-detectandodica.pdf). Accedido en marzo de 2015.
- SIMINI, F.; MOLONEY L., DE GIOBBE, C. (2015). Biomedical Engineering education through outreach programs in hospitals. En World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, Toronto, June 2015. Documento disponible en <http://wc2015.org/>. Accedido en marzo de 2015.
- TOMASINO, H. Y N. RODRÍGUEZ (2010). "Tres tesis básicas sobre extensión y prácticas integrales en la Universidad de la República". En Cuadernos de Extensión N°1. Integralidad: tensiones y perspectivas. Editado por el Servicio Central de Extensión y actividades en el medio, Montevideo: Universidad de la República, 19-42.
- THOMPSON KLEIN, J. (1996). *Crossing boundaries. Knowledge, disciplinarity and interdisciplinarity*. Virginia: University Press of Virginia.
- THOMPSON KLEIN, J. (2005). *Humanities, culture and interdisciplinarity. The changing American Academy*. Albania: State University of New York Press.
- VASEN, F. Y B. VIENNI (en prensa). "La institucionalización de la interdisciplina en la universidad latinoamericana: experiencias de Uruguay y Argentina". *Revista Avalicao*.
- VIENNI, B. (2014). Interdisciplinary socialization of archaeological heritage in Uruguay. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development*, 4(1): 95-106.
- VIENNI, B. (2016). "Los Estudios sobre Interdisciplina como ámbito CTS". En *Revista Redes*, Universidad Nacional de Quilmes, Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- VIENNI, B.; CRUZ, P.; AGUIAR, A.; REPETTO, L.; FERNÁNDEZ, V.; VON SANDEN, C. Y LORIETO, A. (2014). *Confluencias. Núcleos Interdisciplinarios y Programas Experimentales*. Montevideo: Espacio Interdisciplinario de la Universidad de la República.
- VIENNI, B., P. CRUZ, L. REPETTO, V. FERNÁNDEZ, C. VON SANDEN Y A. LORIETO (2015). *Encuentros sobre interdisciplina*. Montevideo: Editorial Trilce.
- WEINGART, P. (2014). "Interdisciplinarity and the new governance of universities". En P. Weingart y B. Padberg (editores), *University experiments in Interdisciplinarity. Obstacles and Opportunities*. Bielefeld: Transcript, Science Studies, pp. 151 – 174.
- ZIMAN, J. (1985). *An introduction to science studies. The philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.

ZIMAN, J. (2003). *Real Science. What it is and what it means?* Cambridge: Cambridge University Press.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecen al equipo docente del Núcleo de Ingeniería Biomédica y del LIS por el apoyo brindado durante la redacción del presente artículo, incluyendo las muy bienvenidas sugerencias, Daniel Geido, Jorge Lobo, Eduardo Santos, Rodolfo Grosso, Diego Suárez, Lucía Grundel, Mariana Sosa, Marcelo David, Fernando León Moloney, Florencia Arbio, Andrés Touya, José Pereira, Ana Erosa, Antonio López Arredondo, Álvaro Margolis,

Karime Ruibal, Darío Santos y Juan Cardelino, además de la ayuda administrativa de Laura Landín, María Misa, Fiorella Giovannini, Martha Delgado, Gabriela Cabrera y Gabriela Rama. Quedan sin nombrar los numerosos docentes médicos y de todas las profesiones de la salud que desde varios Departamentos del Hospital de Clínicas y de la Facultad de Ingeniería han tomado parte en los proyectos interdisciplinarios reseñados en este artículo: a todos ellos nuestro agradecimiento por las enseñanzas que hemos recibido.

Asimismo, se extiende este agradecimiento al Espacio Interdisciplinario y a la Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Universidad de la República por brindar los recursos para llevar adelante esta investigación.