

# MIRADAS

PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO  
INTER Y TRANSDISCIPLINARIO  
EN AMÉRICA LATINA



LIBRO  
**MIRADAS**

**Para el desarrollo del trabajo inter  
y transdisciplinario en América  
Latina**

Unidad de Transdisciplina,  
Redes e Interfaz  
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo  
Universidad de Chile

Programa Ciencia, Tecnología y Sociedad  
Escuela de Sociología  
Universidad Nacional, Costa Rica

Nodo Latinoamericano de Estudios sobre  
Interdisciplina y Transdisciplina (ESIT)

Francisco Javier Crespo Durán  
Luis Diego Soto Kiewit  
Juan Carlos Villa Soto  
Pablo Salvador Riveros Argel

EDICIÓN

Pablo Martínez Castro  
Pamela Sofía Rojas Mena

APOYO EDITORIAL

Alicia San Martín Frez

DISEÑO Y  
**DIAGRAMACIÓN**

ISBN 978-956-19-1296-0

DOI: <https://doi.org/10.34720/t7kh-mc33>

**CÓMO CITAR ESTE DOCUMENTO**

Crespo, F.; Soto, L.; Villa, J.C.; Riveros, P. (editores) (2024) Miradas: para el desarrollo del trabajo inter y transdisciplinario en América Latina. Universidad de Chile, Santiago de Chile.

# MIRADAS

PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO  
INTER Y TRANSDISCIPLINARIO  
EN AMÉRICA LATINA



## ÍNDICE

- 9**     **Introducción:** Interdisciplina y Transdisciplina: miradas y voces desde América Latina  
*Bianca Vienni-Baptista, Francisco Crespo Durán, Juan Carlos Villa Soto, Luis Diego Soto Kiewit, Pablo Riveros Argel*
- 27**     **Capítulo 1: Una revisión conceptual desde América Latina**
- 28**     ¿Para qué sirve la transdisciplina en América Latina?  
*Francisco Crespo, Pablo Riveros y Jaqueline Meriño*
- 42**     La Interdisciplinariedad como motor de transformación en América Latina  
*Jonathan Gordillo Sánchez*
- 55**     **Capítulo 2: ¿Cómo se realiza la investigación interdisciplinaria y transdisciplinaria?**
- 56**     Campus interinstitucional de investigación, aprendizaje e innovación de Tacuarembó: experiencias de investigaciones transdisciplinarias  
*Gustavo Ferreira, Ana Casnati, Gabriela Nogueira Puentes, Virginia Morales, Amalia Stuhldreher e Isabel Bortagaray*
- 72**     La interdisciplina como ingrediente imprescindible de innovaciones: el caso de la Ingeniería Biomédica en Uruguay  
*Franco Simini y Bianca Vienni-Baptista*
- 91**     Enfoque Transdisciplinario en una Universidad Disciplinaria: La Experiencia del CEAM en los Estudios Ambientales  
*Andrea Pino Piderit, Pablo Villarroel Venturin, Juan Carlos Skewes y María Eugenia Solari*

- 110** La investigación interdisciplinaria y transdisciplinaria: El caso del CISEPA – PUCP en el Perú  
*Augusto Castro*
- 125** Claves para el trabajo transdisciplinar para los estudios de riesgo de desastres: la experiencia del Programa de Reducción de Riesgo de Desastres (CITRID) de la Universidad de Chile  
*Paulina Vergara Saavedra y Daniela Ejsmentewicz Cáceres*
- 148** **Capítulo 3: Institucionalización de la interdisciplina y transdisciplina en América Latina**
- 149** Breve Historia y Consideraciones del Desarrollo de la Transdisciplina en la Institucionalidad de Chile en el siglo XX y XXI  
*Juan Carlos Letelier y Francisco Crespo*
- 159** Acciones y Retos para la Institucionalización de la multi, inter y transdisciplinariedad (MIT) en la Universidad Nacional, Costa Rica  
*Luis Diego Soto, Silvia Argüello, Willy Castro, Claudio Monge y Carmen Monge*
- 178** La imaginación radical: Pablo González Casanova y la institucionalización de la interdisciplina en México  
*María Haydeé García Bravo*

# LA INTERDISCIPLINA COMO INGREDIENTE IMPRESCINDIBLE DE INNOVACIONES: EL CASO DE LA INGENIERÍA BIOMÉDICA EN URUGUAY

---

Franco Simini<sup>1</sup> y Bianca Vienni-Baptista<sup>2</sup>

## RESUMEN

El siguiente texto relata las experiencias del Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB) de la Universidad de la República en Uruguay, ejemplificando las experiencias puntuales de grupos de trabajo interdisciplinarios. El NIB se fundó hace casi cuarenta años y mantiene la interdisciplina como eje transversal para la solución de problemas complejos en el área de la salud. Surgió como un intento de superar el modelo multidisciplinar, con el fin de generar nuevas perspectivas para comprender los problemas que anteriormente se solían relegar al área de investigación médica. Desde el enfoque interdisciplinar del NIB, se reconoce la complejidad social que atraviesa al área de salud, al comprender aspectos de ingeniería y medicina que inciden directamente sobre dinámicas sociales, lo cual justifica la relevancia de aportar a una formación interdisciplinar. Este texto también menciona los desafíos de emprender la interdisciplinariedad en espacios disciplinarios, simultáneamente reconociendo el esfuerzo de la Universidad de la República en ceder espacios a la interdisciplina.

- 
- 1 Ph. D. Ingeniería Electrónica, biomédica y médica, profesor, Universidad de la República de Uruguay, fundador Núcleo de Ingeniería Biomédica.
  - 2 Dra en Estudios Culturales, Docente e Investigadora Senior Transdisciplinarity Lab, Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich), Suiza.

## INTRODUCCIÓN

Este libro presenta algunas miradas interdisciplinarias y transdisciplinarias desde Latino América que abarcan la interacción fecunda entre disciplinas diversas. Abordaremos en este capítulo la evaluación de propuestas interdisciplinarias y sus resultados, así como lo que hace que algunas líneas de investigación se lleven a cabo y otras no, en un entorno fuertemente limitado por los escasos recursos disponibles. La experiencia de trabajo interdisciplinario a lo largo de cuatro décadas de un pequeño grupo universitario, el Núcleo de Ingeniería Biomédica (NIB), es el punto de partida de estos aportes a la discusión. América Latina, y el Uruguay en particular, debido a la combinación de problemas grandes y financiaciiones pequeñas, parece haber recurrido tempranamente a la interdisciplina para abordar la complejidad de su realidad.

Cada una de las partes de este capítulo parte de una situación concreta que tomamos como apunte para reflexiones compartidas con el lector, que invitamos desde ya a tomar parte en un diálogo abierto y directo. El Uruguay y el NIB son la referencia compartida con el lector que nos ayudará a situarla en un marco de mayor generalidad.

La Medicina incorpora en el momento actual tecnologías innovadoras de Informática Médica e Ingeniería Biomédica (Simini & Bertemes Filho, 2022), lo que se traduce en un impacto social relevante porque tiende a mejorar resultados de la prevención y de los tratamientos, con creciente satisfacción de las personas. La Informática Médica adquiere un papel indirecto en la salud de la gente al permitir mejores cuidados a costos menores, sin que eso constituya por otra parte ninguna “condición suficiente” naturalmente. El resultado de la aplicación de estas tecnologías médicas junto a conductas médicas cada día más basadas en evidencia cuantificada puede verse traducido en estadísticas de salud, expectativa de vida y estimaciones de prevalencias de enfermedades y sus tratamientos. En las sociedades enganchadas en el tren de las economías industrializadas, la búsqueda de calidad de vida se aleja de la incertidumbre de la enfermedad, de la pobreza y del hambre, para instalarse en una franja de preocupaciones que en otras épocas más estoicas hubieran sido consideradas hedonistas en extremo. A modo de ejemplo, desde los primeros meses de la pandemia

de COVID-19, fueron desarrolladas unas aplicaciones de celular que ayudaron a identificar el conjunto de personas que habían estado en proximidad de una persona hallada positiva al test del virus, permitiendo su aislamiento inmediato para evitar contagios en cadena de numerosas personas. Estas aplicaciones de celulares son el resultado de un cuidadoso trabajo interdisciplinario que trasciende el conocimiento de infectología, epidemiología e informática médica.

Cuando se trate de evaluar un proyecto interdisciplinario como el desarrollo de este mismo ejemplo, es decir el acopio de contactos personales cercanos mediante la consulta de otros celulares ubicados en radios de pocos metros de cada celular con la comunicación inalámbrica Bluetooth activada, hasta detectar que una persona de la cadena resulta positiva al virus, los mecanismos habituales fallan. Esto se debe a que quien evalúa una propuesta epidemiológica esperará una modalidad de recolección de datos por encuesta callejera, por análisis de registros clínicos u otra fuente tradicional. Por otro lado, quién evalúa el desarrollo de una aplicación informática puede perderse ante las múltiples condicionantes del rastreo epidemiológico y subestimar su complejidad teniendo en cuenta los “períodos ventana”, la variabilidad de los fenómenos biológicos, el carácter estadístico del contagio, entre muchos aspectos ajenos a la ingeniería. En definitiva, la evaluación de los proyectos interdisciplinarios cae en un espacio en el medio de los ámbitos clásicos de las disciplinas, o tierra de nadie. Justamente esas zonas antiguamente tildadas de tierra de nadie (*no man’s land*) por fuerte interacción entre disciplinas, da lugar a la interdisciplina. Este capítulo repasa la experiencia de los proyectos de Ingeniería Biomédica a la luz de la evaluación externa e interna que de ellos se hace.

## EL NÚCLEO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA Y EVALUACIÓN INTERDISCIPLINARIA

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, en Uruguay, cuyo objetivo es el desarrollo de la Ingeniería Biomédica (IB) y de la Informática Médica (IM) como aportes a la solución de desafíos médicos. Fue fundado en la frontera entre un pensamiento fisiopatológico y clínico rico en problemas no

resueltos y una experiencia de desarrollos tecnológicos de ingeniería. Sus actividades incluyen la interacción con grupos clínicos y de investigación básica en medicina, la realización de prototipos derivados de esa investigación, la enseñanza y la transferencia tecnológica (Simini et al., 2003, Simini & Bertemes Filho 2022). 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, llegando también a aportar elementos en la relación médico-paciente. Cual epílogo del esfuerzo de entendimiento, desarrollo y solución de problemas de instrumentación médica, el NIB propende hacia el fomento de la producción regional de equipos biomédicos y de aplicaciones de IM en el necesario proceso de transferencia tecnológica (Simini, 1994, 2015, 2022). El NIB posee un enfoque interdisciplinario para la formación de profesionales en IB 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 la carrera de doctor en medicina hasta las licenciaturas en tecnología médica y en enfermería) contribuye a afianzar el diálogo fértil entre la medicina y la ingeniería. El NIB adoptó, desde su creación en 1985, la interdisciplina (National Academy of Science, 2005; Thompson Klein, 2005) como eje transversal al desarrollo de sus líneas de trabajo. El enfoque interdisciplinario del NIB surgió naturalmente como estrategia para resolver problemas complejos, antes de que fueran publicadas las definiciones conceptuales de la multidisciplina, la interdisciplina y la transdisciplina en este siglo. El NIB nace como propuesta de superación del modelo de la superposición de disciplinas independientes conocido como “multidisciplina”. En el NIB se fomenta y asiste a un activo 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.

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 el ambiente clínico de un hospital docente y de investigación. En este sentido, el acuerdo las Facultades de Medicina e Ingeniería (decanos Dr. Pablo Carlevaro e Ingeniero Luis Abete, respectivamente), en el año

1985, puede ser considerado como un temprano reconocimiento al valor académico de la interdisciplina, antes de que se consolidaran en Uruguay estudios sobre su praxis, algo así como si fuera “interdisciplina ante litteram” dado que se mencionaba en esa época únicamente la “multidisciplina”. La yuxtaposición de enfoques (multidisciplina) (Thompson Klein, 1996) fue superada en aquella decisión que permitió -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. Esto permite que la capacidad teórica y práctica pueda 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 cuándo intervenir, aportando desde su perspectiva a la 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 cuarenta años de su fundación, la existencia de un núcleo de ingeniería biomédica en un hospital universitario fue tomada como modelo en otras universidades del mundo.

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 sus ritmos académicos lentos y de acumulación de conocimientos dispares en ausencia de financiación estatal o particular en las décadas de 1970 e inicio de 1980. Hasta 1985 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 cole-

gas especialistas por considerarlos como recursos necesarios para la solución de problemas complejos. En una palabra, estaban dando los primeros 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 -aún anacrónicamente en la década de 1960 y 1970- permitió construir las bases de grupos que podrían llamarse “interdisciplinarios” en el momento actual, como el Instituto de Investigaciones Biológicas Clemente Estable (IIBCE), el Centro de Medicina Nuclear (CMN), el Servicio de Fisiología Obstétrica (SFO), entre otros. Los aportes originales del grupo de Roberto Caldeyro Barcia (nacido como SFO y renombrado CLAP por la OPS/OMS en 1971) recibieron amplio reconocimiento internacional, basados en el trabajo de equipo de uno de los primeros grupos interdisciplinarios del país (Caldeyro Barcia & Poseyro, 1960). Este colectivo hizo aportes en la descripción de mecanismos fisiopatológicos complejos, nunca publicados antes en el mundo, tales como la contractilidad uterina y la acción de los oxitócicos (Beretta, 2006). En el momento en que se verifica la interacción inicial indisciplinaria en Uruguay, los actores no tenían más que sus títulos de grado.

El fomento de la profesionalización de la investigación científica en el Uruguay a partir de 1985 tuvo como consecuencia que los grupos pioneros (IIBCE, CLAP, Medicina Nuclear y otros) se diversificaran en decenas de equipos especializados en una variedad de problemáticas complejas, adoptando en grado mayor o menor el enfoque interdisciplinario. Puede considerarse que el NIB es el resultado de esa “primavera de la investigación uruguaya”. El NIB ya participaba de proyectos de investigación e incluía el seguimiento de proyectos de fin de carrera de estudiantes de ingeniería en IB cuando en 1992 innova al instaurar una experiencia de intercambio y de diálogo: el Seminario de Ingeniería Biomédica, actividad académica semanal, que convoca a médicos e ingenieros indistintamente. El Seminario adquiere la forma de una asignatura de grado, luego ampliada a curso de posgrado y de educación permanente. Con 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, derivada de una de las líneas de investigación del SFO en

instrumentación biomédica, ampliada luego con la inclusión de líneas del CLAP en informática médica y epidemiología. La investigación se consolida en la primera década del siglo XXI y desde 2010 comienza la inclusión de tesis de posgrado (maestrías y doctorados) en el NIB. Las dificultades de la interdisciplina hacen por ejemplo que los seis títulos de posgrado otorgados en 10 años pertenezcan a cuatro programas de posgrado diferentes: i) maestría y doctorado en Ciencias Médicas del Programa de Investigación biomédica (PROINBIO), ii) maestría y doctorado en Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería y iii) maestría y doctorado del Programa de Ciencias Básicas (PEDECIBA) de la Sección Biología y de la Sección Informática (Galnares, 2021).

Algunos de las decenas de proyectos del NIB han iniciado el largo proceso de transferencia tecnológica (Simini, 2019) y tres de ellos lograron ser comercializados (denominados MECVENT, BiliLED y DINABANG) (Basalo et al, 1991; Geido et al, 2007; Simini et al, 2020) y uno dio origen a una contratación de informática médica (REDIENTE) (Simini et al, 2013) confirmando la proporción esperada de que uno en diez intenta la vía comercial, de los cuales una fracción (del orden del 30%) tiene éxito comercial (Simini, 2015).

## MANIFESTACIONES DE LA INTERDISCIPLINA EN EL NÚCLEO DE INGENIERÍA BIOMÉDICA

La interdisciplina y su evaluación puede encontrarse en diversas manifestaciones y actividades en el NIB desde su fundación. El objetivo de enseñar una materia como la IB y su naturaleza interdisciplinaria tiene consecuencias en el diseño de las instancias formativas del NIB. La modalidad adoptada por el NIB puede sintetizarse a partir de los siguientes ejemplos:

### **a) Estudiantes de medicina en curso de informática médica.**

En un entorno mutuamente estimulante, la clínica y la ingeniería adoptan la actitud mental de la otra parte para enfrentar proyectos de IB e IM de complejidad creciente. Esto resulta de la aplicación de la práctica interdisciplinaria a la solución de problemas complejos (Vienni-Baptista y Simini, 2017). La perspectiva del médico, en consecuencia,

cambia al estar expuesto a métodos, nomenclatura y razonamientos nuevos para él. Desde principios de la década de 2010, el NIB dicta un curso opcional para estudiantes del último año de las carreras del área médica, llamado genéricamente Informática Médica. Al finalizar este curso, los estudiantes encuestados afirman que su perspectiva y sus expectativas o exigencias han cambiado con respecto a la Historia Clínica Electrónica y a las herramientas de ayudas al diagnóstico. Estos estudiantes logran cambiar su concepto “semi mágico” de las herramientas cibernéticas y misteriosas sustituyéndolos por elementos de procesamiento de datos, “matching”, inteligencia artificial, procesamiento de señales y algoritmos. Estos elementos estimulan el diálogo con ingenieros y favorecen el buen uso de las aplicaciones de la informática (y la ingeniería en general) derivadas de las necesidades médicas (Simini, 2022).

### **b) Estudiantes de ingeniería en una consulta de neuro-rehabilitación pediátrica.**

Al igual que durante la carrera de medicina, la interdisciplina puede también ser presentada y enseñada durante las carreras de ingeniería. En 2004, el NIB organizó (NIB 2007) la presencia de estudiantes del último año de estudios de ingeniería, interesados en la IB, en la consulta de rehabilitación neuropediátrica. La presencia de estudiantes que presencian, pero sin intervenir, las dificultades motoras y de comunicación de los niños siendo examinados por personal clínico, es tomada como punto de partida para el estudio y la propuesta de soluciones basadas en la tecnología disponible. Ya fuera del consultorio, inicialmente el estudiante busca elementos comerciales que puedan ayudar a cada caso clínico cuya consulta presencié. Si no hubiera solución disponible en el mercado, pasa a redactar una especificación preliminar de un nuevo instrumento que la realidad le sugiere. De esta manera, en estrecho contacto con el personal clínico, se puede modular la capacidad del ingeniero que a partir de los elementos teóricos y prácticos de su formación, propone soluciones tecnológicas en Ingeniería Biomédica e Ingeniería de la Rehabilitación. Es importante resaltar que la participación del estudiante de ingeniería en las consultas de rehabilitación neuropediátrica (o de otras especialidades) desarrolla una fuerte motivación provocada por el sentimiento de empatía hacia el paciente que evidencia carencias en la locomoción, en los movimientos o en la

comunicación oral o escrita. Los estudiantes de ingeniería que son voluntarios para esta tarea, salen de ella con su vocación por la IB muy fortalecida.

### **c) Proyecto de fin de carrera en ingeniería biomédica**

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 consiste en una actividad de tres estudiantes de ingeniería interesados en la IB o IM que forman un equipo con personal clínico que han definido un problema de instrumento o de método necesario en la Clínica. El equipo interdisciplinario de estudiantes y docentes trabaja intercambiando necesidades y opciones técnicas o informáticas, hasta definir y especificar un proyecto con su alcance, sus características, su modalidad de uso y de verificación. Se trata, por ejemplo, de desarrollar una agenda especial para la consulta médica, una historia clínica electrónica específica, un sistema de seguimiento de pacientes en sus domicilios o de supervisión de la adherencia a la medicación. Todos estos proyectos son derivados de la actividad clínica. Los estudiantes de ingeniería reciben enseñanzas interdisciplinarias de tutores de ambas disciplinas, además de lo que aprenden del contacto con la contrapartida médica. Simétricamente los estudiantes del área médica reciben enseñanza de especificación de instrumentos o de sistemas informáticos (Simini et al., 2001). El producto del desarrollo es un prototipo (informático, “instrumento wearable” o equipo de uso clínico) que debe ser probado antes de que sea dada la aprobación de la asignatura “Proyecto”. Estos prototipos llamados a veces “prueba de concepto” si bien deben mostrar su utilidad en pacientes y voluntarios, están aun lejos de la transferencia tecnológica que consiste en un ulterior ajuste y mejora tecnológica, apta para ser adoptada por una empresa,

### **d) Maestrías y Doctorados 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. En la mitad

de los casos, la formación de los estudiantes y de sus tutores no coincide y se asiste al fenómeno en que por lo menos uno de los tutores o directores de tesis debe hacer un esfuerzo de adaptación “interdisciplinaria” para el seguimiento de su estudiante. El estudiante se encuentra entonces estimulado a hacer lo propio, en sentido inverso, para adaptarse a una forma de pensar diferente. El grado de interdisciplina se ve enriquecido por la diversidad de formaciones de docentes y estudiantes involucrados.

### **e) Enseñanza de análisis de señales a estudiantes de medicina por estudiantes de ingeniería**

Es necesario que el estudiante de IB sepa dialogar y entenderse con el médico clínico o con el investigador en fisiología. La cultura, los hábitos de comunicación y de razonamiento de un ingeniero difieren de los del médico, cuya formación incluye conceptos de eficacia, de procesos intelectuales y algunos reflejos mentales diferentes. El NIB ha ideado un trabajo práctico de una asignatura de IB 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 adaptándola al léxico y a los modelos mentales de sus alumnos-médicos. La evaluación posterior es hecha interrogando a los médicos y no a los estudiantes de ingeniería cuyo desempeño en definitiva se quiere evaluar. De esta manera se verifica que el médico pudo asimilar los conceptos al cabo de una interacción interdisciplinaria, por lo tanto que el desempeño del “ingeniero” fue satisfactorio en traspasar la barrera de las disciplinas diferentes. Con anterioridad al ejercicio, el médico no maneja conceptos como el “ancho de banda”, la “descomposición de una señal en frecuencias según el teorema de Fourier” y la definición de “filtros de señales”, todos elementos que lo obligaron a transitar un camino disciplinario nuevo, de la mano del estudiante de ingeniería. Este ejercicio, que ganó el segundo premio en un concurso de docencia de ingeniería emprendedora (Simini et al., 2013), fue probado por primera vez en el año 2013. Las instancias anuales desde 2017 de esta asignatura práctica indican que los médicos la viven con interés como 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 diálogo 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.

### **f) Seminario de Ingeniería Biomédica e Informática Médica**

El Seminario de Ingeniería Biomédica e Informática Médica es la instancia formal más antigua del NIB, dado que desde 1992 reúne los días martes un conferencista diferente que presenta al conjunto de estudiantes de pregrado interesados en Ingeniería Biomédica con formaciones de Ingeniería eléctrica, mecánica, computación, junto a estudiantes de posgrado y a egresados en Educación Permanente. Las conferencias muestran, cada una, una aplicación específica por parte de un médico o de un ingeniero en proporciones similares a lo largo del semestre de 15 conferencias. La finalidad del Seminario es la de informar, para abrir el horizonte de quienes lo cursan en los temas de investigación o de realización tecnológica. Los estudiantes adoptan uno de los temas para profundizar un aspecto de especial interés, bajo la guía del docente del tema, y lo presentan a la vez que redactan un borrador de artículo para publicar. Para aprobar, el estudiante redacta un texto en el formato de un artículo de revista de cuatro páginas en el cual pone en práctica las técnicas y normas de redacción científica, incluido el uso del inglés si se siente cómodo. La evaluación interdisciplinaria consiste en la crítica por parte de docentes (uno de ingeniería y otro del área biológica o de la salud) de la monografía al cabo de la cual el estudiante produce sucesivas versiones. En ocasiones la calidad del trabajo desemboca en la publicación efectiva en actas de congreso o revista arbitrada.

### **g) El Internado de Ingeniería Biomédica**

La formación de la sensibilidad, del lenguaje y de la capacidad resolutoria del ingeniero biomédico debe hacerse en hospitales. Como resultado de las experiencias de los estudiantes de ingeniería en hospitales, el NIB crea el Internado de Ingeniería Biomédica (IIB) aprobado como Unidad Curricular por la Facultad de Ingeniería en 2013. El IIB consiste en una pasantía de seis meses durante la cual el estudiante -guiado por docentes- trabaja en jornadas completas en un hospital. La expo-

sición 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. Mediante la práctica pre profesional los estudiantes desarrollan la capacidad de diálogo y de resolución en la gestión de equipamiento, en consulta con los docentes del NIB. El Internado de estudiantes de IB logra dos objetivos, por un lado, con un mínimo de preparación previa en ingeniería biomédica, ayudan a detectar problemas de uso de equipos biomédicos y 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). La evaluación del aprendizaje profesional consiste en la corrección de “informes de pasantía” en los cuales los estudiantes de ingeniería resumen los conocimientos adquiridos en su semestre trabajando en un hospital, conocimientos fundamentalmente interdisciplinarios.

### **h) Cursos interdisciplinarios dictados por el NIB**

Los cursos que brinda el NIB han evolucionado desde 1992 a 2023, año en que el colectivo dicta 10 unidades curriculares y un internado de práctica en hospitales. Para favorecer la incorporación de saberes interdisciplinarios, los cursos se dirigen a perfiles diferentes, en ocasiones complementarios, que construyen interdisciplina en los intercambios entre estudiantes y docentes. El hecho de que se trate de cursos cuyo nivel de aplicación los vuelve apropiados para los últimos años de diversas carreras como Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica, Ingeniería en Computación, Medicina, Enfermería o varias licenciaturas en Tecnologías Médicas, permite que sean dictados en conjunto para estudiantes de grado, de postgrado y de actualización profesional, enriqueciendo aún más el entorno de aprendizaje interdisciplinario. Algunos cursos están reservados para estudiantes con formación previa en ingeniería en general o en electrónica, pero muchos de ellos admiten la colaboración interdisciplinaria entre estudiantes de formaciones diversas y por lo tanto complementarias. En todas las situaciones en que es conveniente, las clases de dos horas son divididas en dos, para dar el espacio para que dos docentes, de formaciones diferentes como médico e ingeniero, se refieran al mismo tema desde una perspectiva

diferente. Un caso paradigmático es la presentación del sistema renal seguido de los conceptos básicos de proyecto de un equipo de diálisis. El estudiante de IB al cabo de tales clases con dos docentes, es el encargado de realizar su propia síntesis interdisciplinaria, aumentando su motivación.

### **i) Investigación interdisciplinaria**

El NIB realizó unos 95 proyectos entre los años 1984 y 2023, 48 de los cuales se desarrollaron en los últimos quince años (Simini, 2015; Simini, 2022). 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, medicina física y rehabilitación, enfermería, físicos y químicos.

### **j) Respuesta urgente ante la pandemia COVID-19**

Durante las semanas de mayor incertidumbre de la pandemia de COVID-19, el NIB convocó en marzo 2020 a voluntarios de diversas disciplinas entre los cuales estudiantes y docentes de ingeniería, empresarios y médicos para organizar un laboratorio de recuperación de ventiladores mecánicos en vistas de una posible penuria de tales equipos biomédicos en el país. La tarea de rastreo de equipos en desuso en todo el país, su traslado al NIB, estudio, verificación, reparación más allá de su vida útil y devolución a las instituciones titulares como equipos de respaldo insumió gran parte del año 2020 (Morales et al, 2020). El intercambio técnico entre los integrantes de esta experiencia constituyó un crecimiento interdisciplinario para todos los voluntarios.

## MULTIPLICACIÓN DE PROBLEMAS COMPLEJOS E INTERDISCIPLINA

La interdisciplina es un concepto creativo y socialmente relevante para el desarrollo científico que aborda problemas complejos. Ya identificado hace más de cuarenta años, momento a partir del cual se ha construido un conjunto de trabajos que describen y estudian la interdisciplina. Sin embargo, son recientes las publicaciones con análisis de las prácticas interdisciplinarias propiamente dichas (Frodeman, 2014). Esto hace que la evaluación de estas prácticas sea de abordaje reciente y por lo tanto, aún sin consolidar. La Universidad de la República (Uruguay) es un claro ejemplo de fomento tardío (pero pionero en Latinoamérica) de la interdisciplina dado que se materializa recién en 2008, más de 160 años después de su fundación en 1849 (Arocena, 2008). La creación del **Espacio Interdisciplinario** (EI) en esta Universidad (Arocena, 2010) ha significado un paso fundamental, no solamente para favorecer los enfoques interdisciplinarios, sino también para estudiar la modalidad de planteos y de trabajo en los grupos que los encarnan. La creación del EI significó entender cómo el conocimiento es producido en el marco de una investigación interdisciplinaria es una de las claves para crear mejores condiciones para su evaluación. En ese espacio, la evaluación de propuestas de investigación es encarada con herramientas y enfoque interdisciplinarios. Por ejemplo asignando la revisión de candidaturas o proyectos a Comisiones docentes mixtas en cuanto a formación disciplinar.

Se puede deducir por lo tanto que muchos problemas complejos no fueron ni identificados ni abordados en el pasado por falta de enfoque interdisciplinario, lo que abre a la vez un abanico de posibilidades de temas de investigación para el futuro. La postergación de propuestas de resolución de problema complejos alimenta en el momento actual la agenda de investigación en diversos campos. La creciente presencia de la Interdisciplina conlleva la dificultad de su evaluación por no existir antecedentes. Cada disciplina ha tenido su modalidad de evaluación de pares que ha ido ajustándose en el tiempo, pero la creación de propuestas de proyectos interdisciplinarios encuentra un vacío en las estructuras de evaluación.

Como corolario de las dificultades de evaluación en el ámbito interdisciplinario, se verifica la permanencia de dificultades de publicación, en comparación con ramas especializadas que tienen su camino trazado y predecible. En cambio en IB, a pesar de haberse consolidado un conjunto de revistas y de evaluadores conocedores de la interfaz entre Medicina e Ingeniería, aún persisten las sorpresas como los comentarios y revisiones de artículos por revisores que desconocen el tema, estando convencidos que, al dominar el aspectos técnico disciplinar, se sienten habilitados para descartar propuestas interdisciplinarias de sumo interés.

## PERSPECTIVAS DE LA INTERDISCIPLINA Y SU EVALUACIÓN

Se espera que la evolución hacia una fragmentación de los saberes desaparezca dentro de cierto tiempo al asumir todo el carácter de interdisciplina. Al igual que la informática que, al permear todas las actividades humanas, está desapareciendo, las especializaciones extremas desaparecerán en una red de áreas interdisciplinarias. La perspectiva actual es que la evaluación de propuestas -para todas las áreas del conocimiento- se base en la complejidad y pertinencia de la propuesta y por la relación entre ésta y la complejidad del planteo a resolver, mucho más que en la ortodoxia de algunas de las disciplinas convocadas.

La conclusión es que interdisciplina y transdisciplina (Brunn et al., 2005) son la expresión de la creciente interrelación y complejidad de los problemas que se plantean. Ya resuelto el teorema de Pitágoras, o el mecanismo de disparo del axón del calamar gigante, hoy los desafíos son mucho más complejos. Se necesita mucho estudio interdisciplinario para proponer, por ejemplo, un sistema informático que tome en cuenta la psicología de los pacientes le recuerde a la enfermera las acciones a tomar en cada consulta, que proponga indicadores de calidad de atención para la gestión y maneje las interacciones medicamentosas. Estos emprendimientos claramente no pueden ser resueltos por separado ni por informáticos ni por salubristas o licenciados en enfermería, o químicos farmacéuticos aislados y tampoco en régimen multidisciplinario, es decir sumando informes disjuntos. Es necesario

poner en marcha los mecanismos de interdisciplina que cuando llegan a sus últimas consecuencias, en otras palabras, tender hacia la transdisciplina.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- 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.
- Basalo S, Deambrosi H, Estol P, Píriz H, Simini F. "MECVENT: equipo para la determinación automática de los parámetros de la mecánica ventilatoria neonatal,". VI Jornadas de la Sociedad Uruguaya de Biociencias, Piriápolis. 1991. [http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio\\_nib/BibliotecaNIB/PublNIB042.pdf](http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio_nib/BibliotecaNIB/PublNIB042.pdf)
- 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., Staicu, C., Valverde, I., Beerbaum, P., Lawford, 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.
- Darbellay, F. (2015). "Rethinking inter- and transdisciplinarity: Undisciplined knowledge and the emergence of a new thought style". *Futures* 65 (2015), 163 – 174.
- Frodeman, R. (2014). *Sustainable knowledge. A theory of interdisciplinarity*, Nueva York: Palgrave Pivot.
- Galnares M. "Instance-Based Learning Following Physician Reasoning for Assistance during Medical Consultation".

- Universidad de la República, PEDECIABA-Informática, Tesis de Maestría. 2021. [http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio\\_nib/BibliotecaNIB/PubINIB336.pdf](http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio_nib/BibliotecaNIB/PubINIB336.pdf)
- Geido D, Failache H, Simini F. "BiliLED low cost neonatal phototherapy, from prototype to industry". *Journal of Physics: Conference Series*. 2007 Nov;90:12024. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/90/1/012024>
- Morales I, Venturino H, Campo E, Pérez N, Sirino N, Rezk G, Simini F. "Ventiladores mecánicos en desuso rescatados para Uruguay." In: *Semana Académica - Hospital de Clínicas*. 2020. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/25783/3/MVCPSRCDLOS20.pdf>
- National Academy Of Sciences (2005). *Facilitating Interdisciplinary Research*. Committee on Facilitating Interdisciplinary Research. Science, Engineering & Public Policy. Washington: The National Academy Press.
- NIB Módulos de Taller en curso y Terminados (2007) <http://www.nib.fmed.edu.uy/tareas.htm>
- Organización Mundial de la Salud (1946). *Constitución de la OMS*. [http://www.who.int/governance/eb/who\\_constitution\\_sp.pdf](http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_sp.pdf).
- 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".
- 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. (2019) La Extensión Universitaria interdisciplinaria como nexo de ida y vuelta con la sociedad. In: Reflexiones: 10 años de la Extensión en Facultad de Ingeniería. Montevideo, Uruguay: Un. de la República, Unidad de Extensión; p.43–50. [http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio\\_nib/BibliotecaNIB/PubNIB378.pdf](http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio_nib/BibliotecaNIB/PubNIB378.pdf)
- 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., 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, Salveraglio I, Redín A, Piovesán et al. (2013) REDIENTE: historia clínica odontológica ubicua con indicadores de calidad de servicios y evaluación epidemiológica. *CAIS 2013* 2013;301–9. [http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio\\_nib/BibliotecaNIB/PubNIB167.pdf](http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio_nib/BibliotecaNIB/PubNIB167.pdf)
- Simini, F.; Geido, D.; Lobo, J.; Radesca, D., Santos, E. (2015). Detectando oportunidades de ingeniería en la práctica médica. *Ingenieros Emprendedores*, Programa Regional de Emprendedorismo e Innovación en Ingeniería. [http://www.ingemprendedores.org/upload/articles/85\\_50-interdisciplina1-detectando5\\_50--interdisciplina1-detectandodica.pdf](http://www.ingemprendedores.org/upload/articles/85_50-interdisciplina1-detectando5_50--interdisciplina1-detectandodica.pdf).
- 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. <http://wc2015.org/>.
- Simini F, Vienni-Baptista B (2016) Ingeniería Biomédica, Interdisciplina y Sociedad, *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela.*, Vol. 31, N° 2, pp. 83-96.
- Simini F, Méndez L, Santos D, Tejera L et al. (2020) "Transferencia tecnológica de DINABANG para rehabilitación y entrenamiento de miembros inferiores." In: *Semana Académica - Hospital de Clínicas*. 2020. disponible:[http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio\\_nib/BibliotecaNIB/PubNIB310.pdf](http://www.nib.fmed.edu.uy/sitio_nib/BibliotecaNIB/PubNIB310.pdf)
- 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*. Albany: State University of New York Press.
- Vasen, F. & B. Vienni (en prensa). "La institucionalización de la interdisciplina en la universidad latinoamericana: experiencias de Uruguay y Argentina". *Revista Avaluacao*. <https://doi.org/10.1590/S1414-40772017000200016>