

# Primeros pasos hacia una cooperación multidisciplinar en ingeniería

Elías Todorovich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad FASTA

Email: elias.todorovich@gmail.com

## RESUMEN

Los desafíos a los que se enfrenta la humanidad, y en los que participan diferentes ramas de la ingeniería, como el aprovechamiento de la energía, el cambio climático, el desarrollo sostenible, por poner unos pocos ejemplos, exigen la cooperación de diferentes disciplinas para encontrar soluciones aceptables en un contexto socioeconómico cada vez más complejo.

Argentina y la región no son ajenas a este tipo de desafíos donde deben cooperar diferentes ramas de la ingeniería y otras disciplinas. Más aún, en los proyectos van a participar cada vez más actores fuera del ámbito académico, como productores, potenciales usuarios, o beneficiarios de los desarrollos.

Para que esa cooperación, que es imprescindible en la investigación de las próximas décadas, comience a funcionar y genere los resultados por los que la sociedad clama, hace falta instalar el tema, promover capacitación y desarrollar progresivamente experiencias multi, inter, y transdisciplinares.

Este artículo no pretende, ni remotamente, agotar el tema, sino mostrar algunas experiencias en las que se participó desde la ingeniería informática, a la vez que se discuten los principales conceptos y se muestran algunas prácticas que favorecen el desarrollo de este tipo de proyectos.

**Palabras clave:** Cooperación científica, Interdisciplina, Multidisciplina, Proyecto de investigación.

## INTRODUCCIÓN

¿Cómo hace un investigador o un grupo de investigadores para vincularse con otros de disciplinas vecinas o no, y mediante un trabajo efectivo de cooperación, generar resultados de con impacto académico y de calidad para la sociedad? Amplios sectores de la comunidad científica mundial opinan que es evidente que lo que hay que hacer es cooperar. La pregunta práctica es cómo se coopera en un contexto interdisciplinar. Algunos pueden recomendar asistir a congresos, simposios, conferencias, y fruto de conversaciones con colegas, esperar esos resultados. Sin duda, vincularse con profesionales y académicos en eventos científicos es muy recomendable, pero la distancia entre ejercitar unos días de interacción en uno o muchos congresos y realizar un trabajo de cooperación que conduzca a resultados efectivos es muy grande.

Temas complejos como el aprovechamiento de la energía, el calentamiento global, o el Proyecto Genoma Humano (HGP) requieren claramente del conocimiento tradicionalmen-

te contenido en diversas disciplinas, pero pasa lo mismo en casi todos los problemas reales, aunque parezcan muy específicos como acelerar simulaciones para el diseño de fuentes conmutadas [1] o procesar imágenes speckle en tiempo real [2]. Estos problemas no podrían haberse abordado sin un trabajo interdisciplinar. Por otro lado, considerando que una combinación de trabajo interdisciplinar sobre un problema complejo y específico es poco frecuente, es muy probable que las soluciones obtenidas contengan una contribución original, muy valorada no solo en el ámbito académico, sino también en la industria o en la sociedad. La existencia, en su acepción lógica, de resultados es una promesa importante del trabajo interdisciplinar. Esos resultados justifican el esfuerzo y la capacitación adicional que se tratan de relevar en este artículo.

En este artículo se van a extraer una serie de recomendaciones que si bien están ejemplificadas en torno a la experiencia particular del autor [1, 2], podemos verlas reflejadas ampliamente en la literatura, tanto en la que analiza la interdisciplinariedad, como observando globalmente los resultados de la investigación en las últimas décadas. Por ejemplo, un mensaje en línea con el que se presenta aquí, pero centrado en el área de psicología vocacional, se aborda en [3]. De manera similar, [4] analiza estas cooperaciones científicas desde el área de la sostenibilidad.

### ALGUNAS DEFINICIONES

A pesar de la *"inexorable logic that the real problems of society do not come in discipline-shaped blocks"* (Kann, in Klein, 1990, p. 35) [5], el conocimiento se ha dividido en diferentes disciplinas con alto nivel de detalle. La paradoja es que eso tiene sus inconvenientes a la hora de resolver problemas, que requieren de una ciencia más unificada. Los problemas no entienden de casilleros disciplinares, los problemas necesitan ser solucionados. Si bien es necesario que nos especialicemos para poder adquirir habilidades y conocimientos profundos en áreas muy específicas, re-

sulta que los problemas reales no son específicos, son complejos y requieren de la cooperación entre varios especialistas.

Si bien no hay definiciones universalmente aceptadas, en la literatura sobre la interdisciplinariedad se identifican varias formas de colaboración: multidisciplinar, transdisciplinar e interdisciplinar. En [4] se considera que la multi, inter y transdisciplinariedad representan niveles de integración progresivos. En esa línea, el trabajo multidisciplinar es el menos integrado pero más fácilmente alcanzable. En la multidisciplinariedad, aunque se comparte conocimiento, y resultados, los grupos con diferentes especializaciones trabajan independientemente en diferentes partes de un proyecto, cada uno dentro de sus límites disciplinares [6].

En el trabajo interdisciplinar se combinan dos o más disciplinas en una actividad, por ejemplo un proyecto de investigación, para producir resultados holísticos, sistémicos. Hay que cruzar los límites disciplinares. Se trata de conectar disciplinas, principalmente vecinas. En el trabajo interdisciplinar se deben reunir a las personas de diferentes disciplinas para que conjuntamente formulen el problema, acuerden una metodología y analicen los datos. De esta manera, en el enfoque interdisciplinar se requiere más colaboración que en el trabajo multidisciplinar. Si el proyecto funciona bien, se da un incremento gradual en el nivel de cooperación, y no es extraño comenzar el proyecto como multidisciplinar y al final alcanzar cierto grado de trabajo interdisciplinar. En [7] se diferencia la gran interdisciplina, de la pequeña. En la primera se conectan disciplinas distantes como por ejemplo ciencias humanas y ciencias naturales. En la segunda se conectan sub-disciplinas, por ejemplo diferentes ramas de la ingeniería.

La investigación transdisciplinar es la más difícil pero la más deseable de todas. En este caso, no solo se incluyen varias disciplinas, sino que también se incluyen actores fuera del ámbito académico, como por ejemplo usuarios, actores sociales, o potenciales beneficiarios. Todos contribuyen de alguna ma-

nera en el proceso de toma de decisiones. Por ejemplo, en un proyecto para generar soluciones integrales para el ahorro de energía con mínimos costes o para el aprovechamiento de energías limpias en los sectores sociales más necesitados, sería raro que algunos beneficiarios de esos sectores sociales no participen o incluso contribuyan en el estudio de las propuestas. En el enfoque transdisciplinar, el desarrollo que surge como respuesta a un problema complejo que requiere de conocimiento complejo, evita excluir la contribución de conocimiento alternativo de aquellos que están inmersos en la cuestión que se quiere resolver. En este tipo de cooperación es necesario aplicar métodos participativos, pero eso está fuera del alcance de este artículo.

A pesar de que el trabajo multidisciplinar es la forma de cooperación más básica y rígida, es la que puede ofrecer un marco de interacción más claro y sencillo de seguir en un proyecto, especialmente en las primeras experiencias de cruce de disciplinas. Por eso, las investigaciones que se reportan en este artículo son en un marco de trabajo multidisciplinar.

En este punto es importante mencionar que, si bien muchas instituciones reconocen que la interdisciplinariedad es clave en la investigación del presente y del futuro, aún las instituciones no han desarrollado estructuras que alienten y den soporte a la cooperación interdisciplinar. Quizás esto es así porque no hay ni metodologías consolidadas, ni herramientas administrativas y de soporte del conocimiento lo suficientemente maduras. No obstante eso algunas instituciones están impulsando la cooperación multi-, inter, y transdisciplinar mediante órganos con estructura y financiamiento propio. Un ejemplo es el ECSens (Electronic and Chemical sensing Solutions), que se constituyó en el año 2000 por investigadores procedentes de los Departamentos de Química Analítica, Electrónica y Tecnología de Computadores, y Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial de la Universidad de Granada. El objetivo de este consorcio es el diseño, desarrollo y fabrica-

ción de sensores e instrumentación portátil para el análisis ambiental, clínico, biomédico, alimentario y toxicológico, entre otras áreas. Su producción científica es significativa, con más de cien publicaciones, veinte tesis doctorales y siete patentes hasta el año 2015. Algunas de las cuales son muy reconocidas por el número de citas que recibieron [8, 9]. En este sentido, es importante que las universidades y organismos públicos y privados de ciencia y técnica promuevan, mediante programas concretos, una evolución de la cooperación entre diferentes disciplinas.

### CONTEXTO INICIAL

Es usual que en los proyectos interdisciplinarios haya un problema concreto que es parte de un proyecto más amplio y que se ha convertido en un cuello de botella porque su solución traspasaba los límites de la especialización del grupo de investigación de origen. Suele tratarse de un problema muy bien definido, bien estudiado y caracterizado, y del que se tiene un conocimiento completo del estado del arte desde la disciplina específica del grupo anfitrión. En este contexto, se integran otros grupos que dominan las disciplinas específicas y las tecnologías para resolver el problema planteado.

De más está decir, que debe contarse con el equipamiento y recursos necesarios. Aunque no es el objetivo de este artículo reflexionar sobre la financiación de proyectos de investigación, es evidente que es necesario planificar detalladamente desde las instituciones un camino hacia la cooperación para poder abordar los problemas que la sociedad y la industria necesitan resolver.

En una etapa inicial de un proyecto interdisciplinar tiene que darse un intercambio de información que le permita a cada parte comprender qué esperar de los demás, desde plantear el problema a proponer una metodología hacia la solución. De esa etapa debe surgir una especificación clara del problema a solucionar y cómo van a interactuar los grupos disciplinares. Esto incluye alguna forma de conducción o liderazgo. En cada etapa

debe haber un investigador responsable que impulse el avance del proyecto.

### **RELACIONES INSTITUCIONALES, SOCIALES E INTERPERSONALES**

Como punto de partida, los investigadores responsables de cada grupo disciplinar deben haber construido una relación previa de confianza y respeto profesional. Es deseable que al menos uno de ellos ya tenga experiencia en cooperación. Es conveniente que el investigador más interesado en la resolución del problema conduzca el proyecto, impulsando una definición de objetivos específicos e hitos, estableciendo plazos tentativos, y concertando reuniones con un conjunto preciso de temas a tratar.

Es frecuente que participen grupos de investigadores provenientes de diferentes instituciones para realizar el trabajo de colaboración. Puede requerirse una cierta burocracia para poder interactuar, como por ejemplo autorizaciones formales. Pero no recomiendo se proceda con formalidades que no se requieren por parte de las instituciones como la suscripción de convenios que conlleven un procedimiento largo, tedioso y que podría erosionar innecesariamente la relación entre los grupos demorando el trabajo propiamente dicho. Una vez que se haya recorrido un cierto camino con resultados beneficiosos para todos los participantes, y ante la necesidad, por ejemplo, de aplicar a convocatorias que lo requieran, ahí se puede hacer el esfuerzo de elaborar convenios entre las instituciones. Un convenio es un medio, no un resultado de una colaboración.

Si bien es básico en toda interacción profesional, también es cierto que en ninguna carrera de grado se enseña cómo interactuar ordenada y correctamente con otro grupo de investigación, a veces en otra ciudad o en otro país con otras costumbres, usos, normativa y cultura. En primer lugar, es importante que todos los investigadores interesados en la comunicación estén en copia de los correos, especialmente el investigador responsable de cada grupo. En segundo lugar,

aunque no menos importante, hay que responder cada comunicación en un tiempo razonablemente corto, por ejemplo en 48 o 72 horas. Eso no quiere decir que se deba dar una respuesta acabada en ese plazo, sino como mínimo, decir que se recibió el mensaje y se estima que se va a responder en un determinado plazo. Aquí hay que comprender que el proyecto en cuestión generalmente no es el único trabajo en curso de los investigadores, muchas veces compartiendo dedicación con otras tareas académicas. Por eso es importante comunicar algún tipo de plazo y que la continuidad del proyecto se mantenga. Esta es una de las prácticas esenciales en el marco de un profesionalismo que sienta las bases de la confianza y el respeto laboral que finalmente llevan a resultados. Sin esta disciplina es muy probable que se comprometa la continuidad, la confianza, y finalmente los resultados.

Ya está bastante claro que la falta de capacitación de los investigadores, y en general la falta de infraestructura en el contexto interdisciplinar es una de las principales causas de fracaso en proyectos de cooperación científica [10]. Para todos los integrantes de un proyecto, la actitud es incluso más importante que la formación técnica. Adaptabilidad, curiosidad por aprender de otras disciplinas, habilidad para comunicarse, creatividad para llevar la teoría a las soluciones, capacidad para trabajar en equipo, y tolerancia ante la ambigüedad y la incertidumbre. Es importante que los investigadores comprendan el valor y el impacto de los resultados esperados del proyecto. También hay que instalar una actitud proactiva que impulse el proyecto hacia el logro de sus objetivos, especialmente cuando el ritmo de avance decae.

En cuanto a las reuniones, es importante que tengan un temario preciso e interesante en cada punto del proyecto que así lo requiera. A veces los investigadores tienen una agenda de trabajo ajustada pero eso no tiene que conducir a una reunión con prisas excesivas. Si alguien en una reunión de trabajo importante para un proyecto se muestra

apurado, puede desalentar al resto del equipo dando a entender que ese proyecto no merece una cuota de su tiempo con la calidad y atención esperadas. Es recomendable reservar en la agenda y comunicar a los participantes un lapso de tiempo fijo, por ejemplo de dos horas. Obviamente, si se resolvieron los temas a tratar se puede finalizar la reunión antes que finalice el tiempo reservado. Entonces, cuando se presenta un problema técnico suficientemente importante, hay que hacer una reunión. Pero, qué hacer si se presenta un problema de tipo interpersonal. Es una buena pregunta que excede el alcance de este artículo aunque es de importancia fundamental para poder lograr los objetivos del proyecto.

Es necesario unificar o clarificar el vocabulario. A veces se utilizan diferentes términos en cada grupo disciplinar, o incluso en diferentes etapas del proyecto. Si esto persiste a la hora de comunicar, sobre todo hacia el exterior, se genera confusión y se puede perder calidad en los textos. Eso, como mínimo, no favorece una decisión favorable de evaluadores. En general, el problema del lenguaje y cultura disciplinar puede ser una dificultad grande en un proyecto de cooperación interdisciplinar [4].

Es importante definir desde el principio objetivos y estrategias de publicación de los resultados. En mi experiencia personal, los proyectos contaban con investigadores experimentados en el área del problema, con lo cual dominaban la bibliografía específica. Por otro lado, en todos los casos no había trabajos previos que abordaran los problemas con esa mezcla multidisciplinar particular. A modo de ilustración, en los artículos que comunican resultados de este tipo de proyectos suele usarse una fórmula como "*To the best of the authors' knowledge, no previous work has studied...*". Entonces, en este tipo de proyecto es razonable aspirar a generar publicaciones en revistas reconocidas, como por ejemplo, indexadas en el ISI Journal Citation Report (JCR). Incluso a veces se alcanzar una revista rankeada en el primer o segundo

cuarto (Q1, Q2). Sin embargo eso no se consigue sin definir cuál es la audiencia más afín al problema abordado, es decir, desde cuál de las disciplinas se va a enfocar la comunicación. Entrando en cierto nivel de detalle, pero no por eso menos importante, a la hora de publicar resultados hay que definir orden de participación de los autores. La clave es que los investigadores responsables de cada grupo sean personas éticas y profesionales porque lo usual es que ellos deciden el orden de los autores. Para eso se usan criterios como porcentaje de participación en las contribuciones. Si se trata de un grupo de autores numeroso, digamos superior a 6, con participaciones similares, no hay que descartar un orden alfabético.

No tener en cuenta estos aspectos sociales e interpersonales a la hora de preparar a los integrantes para un proyecto de cooperación puede llevar fácilmente a fallar en los objetivos y no llegar a obtener los logros planteados [11, 12]. En lugar de eso debe cultivarse una amistad profesional; esto es, una relación basada en una confianza y un respeto por normas de comportamiento tácitas o explícitas como las aquí mencionadas.

## EXPERIENCIA

Los trabajos de investigación multidisciplinarios en los que participé requirieron de un tiempo adicional, un cierto esfuerzo extra y de mayor imaginación para resolver los problemas que se presentaron en el transcurso del proyecto, que en el caso de un proyecto disciplinar. Pero ese esfuerzo valió la pena en todos los casos porque se generaron resultados significativos.

Se trató de proyectos relativamente cortos, de entre uno y dos años de duración y en los que participaron dos grupos de investigación cooperando en la modalidad multidisciplinar.

En el primer caso [1], ya había una relación de confianza construida en trabajos anteriores entre los investigadores responsables. Eso compensaba el trabajo a distancia de equipos residiendo en diferentes países. El investigador responsable del equipo español,

que es el que planteó el problema, sino un referente mundial en su especialidad, cuenta con una experiencia respaldada por resultados sólidos y consistentes desde hace más de una década. Esto último, generaba mucha confianza en todos los integrantes de los equipos sobre el éxito del proyecto. En esta experiencia el investigador que propuso el problema fue el conductor del proyecto de cooperación. El primer planteo del problema se hizo de manera presencial. Desde el principio se estableció, como estrategia de publicación de resultados, la publicación en revistas de buen nivel en el área de origen del problema. En este caso, el área seleccionada es electrónica de potencia. La comunicación del día a día era entre los integrantes se hizo mediante correos electrónicos lo más detallados y autocontenidos posible. Remarco estas características pues cuando no fue así se necesitó rectificar y aclarar los mensajes. Cuando surgieron temas en los que se necesitaba explicar, interactuar o destrabar interrogantes un poco más complejos, se organizaban reuniones mediante algún software que permite comunicaciones de texto, voz y vídeo sobre Internet (VoIP). Al final del proyecto, los resultados fueron comunicados en una revista como se había planteado al comienzo y el trabajo contribuyó a lograr los objetivos en dos tesis doctorales que ya llegaron a su fin.

En cuanto a la escritura de los resultados cada grupo se ocupó de la parte que mejor domina. En ambos casos se siguió el mismo criterio. En [2] la cooperación también se hizo de manera multidisciplinar entre dos grupos. El grupo que planteó el problema originalmente escribió la introducción, la sección sobre marco teórico, con una fuerte base bibliográfica en trabajos relacionados y la sección que describe el algoritmo que ellas propusieron en una publicación anterior. El segundo grupo escribió la sección con la solución propuesta para el problema, en este caso un circuito digital muy eficiente que permitía funcionar a aquel algoritmo en tiempo real. El segundo grupo también escribió la sección sobre las pruebas experimentales, el resumen y las

conclusiones. La originalidad estaba en el circuito y en la nueva cota de rendimiento alcanzada. En las primeras versiones se notaba la disparidad de ambos redactores pero a medida que el borrador se revisaba y afianzaba, se fue aunando la notación y el vocabulario, puliendo las diferencias más notables de estilo. Finalmente una revisora profesional de idioma inglés fue fundamental para lograr no solo la corrección gramatical sino párrafos y oraciones más equilibradas.

## CONCLUSIONES

Este artículo pretende fomentar que se trate el tema de la cooperación interdisciplinar en el ámbito de la ingeniería y mediante los argumentos que se esbozan, como la solución de problemas acuciantes de la sociedad y de la industria, que las instituciones generen programas de desarrollo de una cultura de cooperación desde la multidisciplina a la inter- y transdisciplina.

Para los que prevén o aspiran desarrollar proyectos interdisciplinarios en el corto plazo, se resumen una serie de sugerencias y buenas prácticas para que las posibilidades de éxito sean mayores, entendiéndose como éxito lograr el objetivo esperado en el medio social o productivo y obtener resultados de nivel como para comunicar en revistas de reconocido impacto. Estas sugerencias son:

1. Especificar claramente el problema a resolver.
2. Los aspectos sociales e interpersonales no solo son importantes, sino que están por encima de los aspectos técnicos en estos proyectos. Por eso, hay que capacitar a los integrantes del cada equipo para mejorar sus habilidades de trabajo en el contexto multidisciplinar.
3. Respetar estándares de comunicación. Responder las comunicaciones en plazos razonablemente cortos.
4. Cada grupo de investigadores debe trabajar con profundidad, rigor científico y comunicar resultados parciales y avances en plazos previsibles. Previsibles si no es con fe-

chas estrictas, informando de inconvenientes de manera que se pueda anticipar, y reprogramar.

5. Definir objetivos y estrategias de publicación de resultados.

6. Homogeneizar terminología, incluida la notación es tablas y fórmulas.

7. Es importante contar con el apoyo de programas de promoción de la cooperación interdisciplinar.

8. No pasarse con la burocracia. Más bien reducirla al mínimo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] O. Goñi, A. Sanchez, E. Todorovich and A. de Castro, "Resolution Analysis of Switching Converter Models for Hardware-in-the-Loop," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10 (2): 1162-1170, May 2014.

[2] Todorovich, E., Dai Pra, A.L., Passoni, L.I., Vázquez, M., Cozzolino, E., Ferrara, F., Bioul, G., "Real-time speckle image processing", *J. Real Time Image Process.* 11(3): 535-545 (2016).

[3] Collin, A., "Multidisciplinary, interdisciplinary, and transdisciplinary collaboration: implications for vocational psychology", *Int J Educ and Vocat Guidance*, 9 (2): 101-110, 2009.

[4] Stock, P., Burton, R. J., "Defining Terms for Integrated (Multi-Inter-Trans-Disciplinary) Sustainability Research" *Sustainability*, 3 (8): 1090-1113, 2011.

[5] Klein, J. T., "Interdisciplinarity: History, theory, and practice". Detroit: Wayne State University Press, 1990.

[6] Mallon, W. T., & Burnton, S., "The functions of centers and institutes in academic biomedical research", *Analysis in Brief*, 5(1), 2005.

[7] Kutílek, M.; Nielsen, D.R., "Interdisciplinarity of hydroponology", *Geoderma*, 138: 252-260, 2007.

[8] Antonio García, MM Erenas, Eugenio D Marinetto, Carlos A Abad, Ignacio de Orbe-Paya, Alberto J Palma, Luis F Capitán-Vallvey, "Mobile phone platform as portable chemical analyzer", *Sensors and*

*Actuators B: Chemical*, 156: 350-359, 2011.

[9] A Martínez Olmos, MA Carvajal, DP Morales, A García, AJ Palma, "Development of an Electrical Capacitance Tomography system using four rotating electrodes", *Sensors and Actuators A*, 148: 366-375, 2008.

[10] Massey, C.; Alpass, F.; Flett, R.; Lewis, K.; Morriss, S.; Sligo, F. Crossing fields: The case of a multi-disciplinary research team. *Qualitative Res.* 6: 131-149, 2006.

[11] Reyers, B.; Roux, D.J.; Cowling, R.M.; Ginsburg, A.E.; Nel, J.L.; Farrell, P.O., "Conservation planning as a transdisciplinary process", *Conserv. Biol.*, 24: 957-965, 2010.

[12] Massey, C.; Alpass, F.; Flett, R.; Lewis, K.; Morriss, S.; Sligo, F., "Crossing fields: The case of a multi-disciplinary research team", *Qualitative Res.*, 6: 131-149, 2006.