



21 AÑOS DE EXPERIENCIA DE UN FÍSICO TEÓRICO EN LA INDUSTRIA ARGENTINA*

Alberto Pignotti

FUDETEC, Centro de Investigación Industrial, L. Alem 1067, 1001 Buenos Aires, Argentina (Fallecido 1 de junio de 2021)

* Texto de la conferencia pronunciada en julio de 1996 en Belo Horizonte, Brasil, en ocasión de la "2nd. Conference on Physics and Industrial Development", gentilmente traducido por Gabriela y Carmen Pignotti, que decidimos dar a conocer por la vigencia actual de sus conceptos.

Palabras clave

Industria
Acero
Ciencia aplicada

Resumen Luego de haber investigado las partículas de la física en Argentina y en Estados Unidos durante más de una década, el autor ha trabajado durante 21 años para una de las principales empresas de ingeniería y acero en Argentina. Esta presentación se centrará en su experiencia industrial: cómo comenzó, los intentos por adaptar sus capacidades profesionales a las necesidades de la industria y la creación de un Centro de Investigación Industrial. Se describirá la organización actual de este Centro, y se analizarán las razones de sus logros y limitaciones. Asimismo, se establecerá una diferencia entre el enfoque ingenieril, basado en el "know-how", y el "know-why" del enfoque científico. Se abordarán algunos temas relacionados, como la medición del éxito en la investigación industrial y las circunstancias especiales de trabajar en un país en desarrollo.

Keywords

Industry
Steel
Applied science

Abstract 21 years of experience of a theoretical physicist in the Argentine industry. After having been involved in research on particle physics in Argentina and in the USA for over a decade, the author has worked for 21 years for a major Argentine engineering & steel company. This overview is centered on his experience with the industry: its beginnings, the attempts at adapting its professional capabilities to industrial requirements, and the creation of an Industrial Research Center. It describes the organization of this Center, and the reasons behind its successes and its limitations. It also discusses differences between the engineering know-how, and the scientific

know-why outlooks. In addition, several related issues are analyzed, including the assessments of success in industrial research, as well as the particular settings associated with working in a developing nation. slation performed by the later USA president Herbert C. Hoover and his wife Lou Henry Hoover. Finally, the impact of this and other similar works not only on the development of mining and metallurgy, but also on chemical sciences in general, is analyzed.

1. Introducción

Me gustaría comenzar esta presentación aclarando que me basaré en mi experiencia personal, luego de haber trabajado durante más de 10 años en investigación de aspectos básicos en universidades americanas y argentinas, y el doble de años en investigación aplicada y otras actividades en la industria privada en Argentina. Otros participantes podrán haber tenido experiencias distintas y podrán tener otros puntos de vista, y espero que así lo hagan, porque uno de los motivos por los que estamos hoy aquí reunidos es para intercambiar puntos de vista y enriquecer nuestras perspectivas recíprocamente.

A la hora de abordar el tema de la física y el desarrollo industrial es fundamental considerar el hecho de que la cantidad y la calidad de la investigación aplicada en los países en vías de desarrollo no se corresponde con los niveles alcanzados en la ciencia básica. Incluso existe un pequeño estigma, como si se diera a entender que nadie se dedica a la ciencia aplicada si es lo suficientemente bueno para trabajar en la ciencia básica. Esta situación es triste, pero debemos encararla y empezar a entender por qué es así. Sólo podremos intentar encontrar formas y políticas para revertir esta situación una vez que la hayamos comprendido.

2. La investigación aplicada y el mercado

Se pueden encontrar varias explicaciones de por qué la investigación aplicada queda detrás de la investigación básica en los países en desarrollo. No hay dudas de que la ciencia aplicada tiene menos glamour. Y los problemas no son tan claros. Por un lado, suelen implicar distintas disciplinas, añadiendo una nueva dimensión a las dificultades que hay que afrontar. Existen características no tan agradables, como la fricción, la turbulencia, las impurezas o las propiedades desconocidas de los materiales. Pero, en definitiva, muchas de ellas son cuestiones técnicas que están presentes tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Dicho esto, creo que la gran diferencia entre el mundo desarrollado y el que está en vías de desarrollo es que la ciencia aplicada tiene que estar inevitablemente vinculada con el sector productivo. Como resultado, la ciencia aplicada necesita un mercado, y es ahí donde nos quedamos atrás. Independientemente de lo brillante que sea el investigador y de lo imaginativas que resulten sus

soluciones técnicas, si la ciencia aplicada no está impulsada por las demandas del mercado y la economía, permanece en el plano académico. Por ello, el ya difunto Jorge Sábato, pionero de la ciencia aplicada en Argentina, sostenía que el organismo gubernamental encargado del avance de la tecnología no debería ser el Ministerio de Educación, sino el de Economía. Se puede discutir, tal vez, que condicionar la ciencia aplicada sólo a un mercado existente es contraproducente, que no se puede esperar una amortización inmediata y que se pueden desarrollar nuevos mercados.

3. La Argentina de hoy

Es evidente que hoy en día en Argentina el Estado se ha quedado sin recursos, y que el gobierno quiere eliminar todos los subsidios e incluso la participación estatal en la mayor cantidad posible de actividades que puedan ser realizadas por organismos privados. En este contexto, incluso el apoyo estatal a la ciencia básica está disminuyendo, y esto es muy alarmante. Y el apoyo a la ciencia aplicada debe provenir inevitablemente del sector productivo, en el que la participación del Estado es cada vez menor.

Al mismo tiempo, hay una marcada tendencia a abrir la economía a la competencia del mercado exterior. Los fabricantes locales ya no pueden esperar un mercado protegido y, por ello, tienen o al menos deberían tener, una fuerte motivación para alcanzar estándares internacionales de calidad y competitividad. Esto implica grandes cambios estructurales y la adopción de un nuevo enfoque de fabricación: uno que se base no sólo en el *know-how* (“saber cómo”) (es decir, en una receta, cuyo fundamento es irrelevante, siempre que la receta funcione), sino en el *know-why* (“saber por qué”). Aquí aparece una motivación básica para la investigación aplicada: hay que entender las leyes físicas que rigen el comportamiento de un proceso de fabricación, y la relación entre este proceso y la calidad del producto, para poder ajustarse a las nuevas y mayores exigencias del mercado, y hacer que el proceso de fabricación sea más rentable y, por ende, más competitivo.

4. Experiencia personal: primeros intentos

A continuación, voy a ilustrar estas afirmaciones con algunos ejemplos tomados de mi experiencia personal. Luego de haber trabajado durante muchos años como físicos teóricos de partículas elementales y forzados por circunstancias externas, junto con un colega cambiamos de la noche a la mañana del mundo académico a una de las principales empresas industriales de Argentina. Las principales áreas de esta empresa son la ingeniería, en la comenzamos a trabajar, y la industria del acero.

4.1. Ingeniería estructural

Debido a que en ese momento la empresa se dedicaba a la construcción de dos enormes puentes sobre dos ramales del río Paraná, por primera vez nos encontramos ante problemas de pandeo y elasticidad que aparecieron al diseñar algunas placas de acero en la estructura del puente. Debido a las grandes cargas utilizadas, estos problemas no se ajustaban a las tablas del manual de ingeniería, por lo que no sólo había que saber cómo consultar las tablas, sino también cómo habían sido creadas, para poder aplicar los resultados al caso en cuestión. Dicho sea de paso, este es un claro ejemplo de la diferencia entre el saber hacer y el saber por qué. Por supuesto, empezamos sin tener la menor idea de cómo se habían hecho las tablas. Voy a confesarles, pidiéndoles disculpas a los ingenieros de estructuras que hoy estén en el público, si es que hay alguno, que ni siquiera sabíamos lo que significaba la palabra "pandeo". Para que todos los colegas de la sala que comparten mi antigua ignorancia se queden tranquilos, les voy a explicar el concepto de pandeo.

Si se aplica una pequeña compresión a una viga recta, se mantiene en equilibrio estable, lo que significa que, si se aplica una pequeña perturbación elástica, vuelve a la configuración de equilibrio recto. Sin embargo, si se aumenta la fuerza de compresión, se llega a un punto en el cual el equilibrio se vuelve inestable. Y si se aplica la misma ligera perturbación elástica, el sistema no vuelve a la posición recta. Bueno, no tardamos mucho en descubrir que el pandeo es un problema de valores propios, y, porque los valores propios, como todos ustedes saben, son propios de la mecánica cuántica, pudimos resolver el problema del puente con técnicas de mecánica cuántica. Este fue mi primer encuentro con la ciencia aplicada, pero lo que más nos sorprendió fue descubrir que antes de que se nos presentara el problema, ya había sido "resuelto" por el ingeniero de diseño, aplicando un factor de seguridad de dos, sobre la base de una sólida solución de ingeniería. En 20 años no se construyeron puentes similares en Argentina (me refiero a puentes con ferrocarril y de 300 metros entre pilares). Todo esto me permite ilustrar mi referencia anterior al mercado: para nuestra empresa, no tenía sentido desarrollar expertos en diseño de puentes básicos para un mercado de un puente cada 20 años. Lo que la empresa suele hacer cuando aparece un asunto así es contratar a un consultor extranjero de alto nivel, con experiencia en ese campo específico. Este es un enfoque lógico, y tratar de luchar contra él es una batalla perdida, excepto si la aparición de un mercado común cambia la escala del mercado al que tenemos acceso.

4.2. La computadora como una herramienta de ingeniería

Luego de haber superado esta primera experiencia, el curso de los acontecimientos me llevó a problemas que no resultaban tanto de índole científica, sino a los aspectos básicos del diseño de la ingeniería de una forma más moderna y por medio de la computadora. Esto duró algunos años, y para mí fue muy gratificante porque sentí que estaba haciendo algo útil, y que estaba utilizando algunas habilidades personales. Era una actividad legítima, y muchos físicos han conseguido desarrollarse trasladando su habilidad para

usar las computadoras a otros campos. Sin embargo, hoy no queremos centrar la ponencia en este tipo de efecto secundario de la física, por lo que no me extenderé más en este punto.

4.3. Diseño básico del intercambiador de calor

Un tiempo después, por razones circunstanciales, comencé a trabajar en el campo del diseño básico de los intercambiadores de calor. En este ámbito, volví a poner en práctica mis conocimientos de física teórica, y fui capaz de generar una serie de resultados originales, basados principalmente en las similitudes entre un proceso de intercambio de calor y la dispersión de partículas elementales. (Si alguien del público duda de que el rendimiento del radiador de su auto está íntimamente relacionado con la dispersión de piones en protones, voy a estar encantado de demostrarle que está equivocado, pero no discutamos aquí esos detalles técnicos). Con el tiempo me convertí en un experto en el campo del diseño básico de los intercambiadores de calor, sobre el que publiqué varios artículos en publicaciones internacionales, tras algunas dificultades iniciales con los jueces. Incluso fui invitado como exponente principal a la 8ª Conferencia Internacional de Transferencia de Calor de San Francisco de 1986, y fui el único orador de América Latina. Así que esto parece un claro ejemplo de fertilización cruzada entre disciplinas muy diferentes, y de un exitoso programa de investigación aplicada en América Latina. ¿Es éste el tipo de investigación que deberíamos promover?

Sinceramente, no. Lo que falló en este trabajo fue que, cuando me convertí en un experto en la materia, el tema se había vuelto tan especializado que era totalmente irrelevante para mi empresa. No se diseñó ni un solo intercambiador de calor en Argentina utilizando lo que yo había descubierto. En algún momento el *HTRI (Heat Transfer Research Institute of Alhambra, California)*, se interesó por mis resultados, e incluso les elaboré una fórmula para garantizar la eficacia de un intercambiador de calor. Esta fue una experiencia novedosa para un ex físico de partículas elementales: nunca nadie me había "comprado" una fórmula. Pero para la empresa para la que trabajaba, que solía vender proyectos de ingeniería por valores de nueve dígitos, vender una fórmula de cuatro dígitos no era algo especialmente significativo. Hasta aquí puedo resumir mi experiencia como científico en una empresa de ingeniería líder en Argentina diciendo que logré hacer tanto un trabajo útil que no era de investigación, como un trabajo de investigación que difícilmente podría justificarse en base a su impacto industrial.

5. Un enfoque sistemático

Que no se crea que no veo ninguna posibilidad de realizar un trabajo significativo en el campo de la física aplicada en los países en desarrollo. Lo que quiero decir es que hay dificultades y que la elección del área de investigación es delicada y debe estudiarse cuidadosamente. Habiendo

expresado esto, hace aproximadamente diez años comenzamos a promover el trabajo de investigación y desarrollo directamente relacionados con una actividad industrial en la que se cumplían las siguientes premisas:

1. Se trataba de tecnologías modernas,
2. Existía un mercado considerable, y
3. El mercado era competitivo.

Estos tres factores son necesarios para proporcionar una base sólida para una actividad sostenida de investigación y desarrollo. De hecho, aunque exista un mercado considerable para un producto que requiere tecnologías avanzadas, puede darse el caso que el mercado no sea competitivo debido a algunas políticas proteccionistas, o por cualquier otra razón. En ese caso, es muy difícil lograr que la dirección industrial dedique esfuerzos y recursos a las actividades de investigación y desarrollo. Si se puede generar dinero rápido, el *know-how* es suficiente, y no es necesario el *know-why*. Y sin el apoyo del sector industrial, ningún programa de investigación y desarrollo puede considerarse firme. También quisiera agregar que sólo podemos esperar alcanzar niveles de excelencia en el trabajo de investigación y desarrollo aplicado si hay competitividad a nivel internacional.

5.1. Industria del acero

En nuestro caso, dentro de nuestra empresa, encontramos estas condiciones satisfechas en una siderúrgica integrada que fabrica tubos de acero, principalmente para la industria petrolera. Al exportar aproximadamente el 80% de su producción, esta empresa tenía que competir con fabricantes de todo el mundo (Japón, Alemania, Francia, etc.). Esto nos proporcionó un entorno ideal para el desarrollo de un programa piloto de investigación y desarrollo industrial, que hemos desarrollado gradualmente durante los últimos años. Repasaré brevemente cómo se ha desarrollado, ya que, a diferencia de los intentos anteriores que he descrito, tiene una base sólida y ha logrado resultados significativos.

5.2. Evaluación externa

Antes de empezar a patrocinar una actividad de investigación y desarrollo a gran escala, la administración de la empresa tenía que estar convencida de que el proyecto realmente valía la pena. Para ello, tiene que haber una administración bien informada, lo que no es fácil de encontrar. Incluso en una empresa innovadora de este tipo, una administración bien informada necesita algún tipo de evaluación de la capacidad de un grupo de investigación y desarrollo para cumplir su objetivo. Afortunadamente, en nuestro caso, el director general de la empresa tenía un doctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, lo cual es bastante inusual, y ayudó a generar un ambiente receptivo para la investigación y el desarrollo.

Además, encontramos un director con visión de futuro que, bajo su responsabilidad, patrocinó una modesta operación inicial con un presupuesto mínimo. Durante un par de años mantuvimos un perfil bajo y logramos un éxito moderado. Trabajábamos en una empresa de ingeniería y recibíamos honorarios, sobre todo en la resolución de problemas y en programas de interés para la planta de fabricación de tubos de acero. Conseguimos contratar por medio tiempo a expertos en metalurgia, ciencia de los materiales, fractura, corrosión, revestimientos, etc. para que resolvieran los problemas técnicos que íbamos encontrando. Muy frecuentemente se trataba de físicos que se habían especializado en el extranjero en estos campos aplicados. Gracias a algunos éxitos al comienzo, la empresa se comprometió con nuestro proyecto.

Con el tiempo, luego de esta operación inicial de bajo perfil, nos empezaron a inspeccionar en detalle. Teníamos que justificar nuestra existencia demostrando que la inversión valía la pena. Un consultor externo, un distinguido catedrático norteamericano en el campo de la Ingeniería de Materiales, contratado para que revisara nuestros programas de investigación y para "apagar los espíritus hirvientes" de este grupo rebelde, nos hizo una auditoría. Es curioso que el resultado de este proceso de evaluación fue la conclusión de que estábamos demasiado cerca del área de operaciones de la planta, y que nuestro Centro de Investigación Industrial corría el riesgo de convertirse en un sofisticado grupo de ingeniería de procesos. Finalmente, y con la intención de dotar al Centro de Investigación cierta independencia de la planta de fabricación, se creó una Fundación y se encargó de la administración del Centro. Cinco empresas industriales distintas, que pertenecían a la misma Corporación, y la sede de Campana de la Universidad Tecnológica Nacional fueron los patrocinadores originales de la Fundación.

5.3. El Centro de Investigaciones Industriales

Hoy en día este Centro de Investigaciones Industriales ha crecido y ha alcanzado reconocimiento; como toda empresa humana, puede ser criticada y mejorada, pero nadie cuestiona las razones de su existencia. Cuenta con un presupuesto anual de más de 4 millones de dólares, una planta permanente de seis investigadores senior, algunos intermedios y un gran grupo de estudiantes de posgrado, lo que hace un total de más de 30 personas. Las instalaciones del laboratorio aún se están desarrollando, pero también se realizan pruebas de laboratorio en varias instituciones en distintas partes de Argentina y algunas veces también en el extranjero.

Las principales actividades del centro son la comprensión y la mejora de los procesos de fabricación, la relación entre los parámetros de funcionamiento y la calidad del producto, y la evaluación del rendimiento de los productos manufacturados. Las técnicas utilizadas son la modelización matemática, los ensayos de laboratorio y las pruebas en planta. Las

disciplinas más frecuentes son la ciencia de los materiales, la metalurgia, la física, la modelización numérica, el procesamiento de señales, etc. La formación avanzada en investigación aplicada de jóvenes científicos e ingenieros forma parte de nuestra actividad.

6. Evaluación del rendimiento

¿Cómo se puede medir el éxito de un centro de este tipo? Puede resultar difícil medirlo en términos estrictamente económicos. En algunos casos, es posible asignarle un precio al desarrollo de un proceso. Un ejemplo es la sustitución de un acero templado por otro con una formulación diferente que logra propiedades similares con un proceso de fabricación más barato. En ese caso se puede calcular el ahorro de tantos centavos o dólares por tonelada. En otros casos, sin embargo, es más difícil, como cuando el resultado del trabajo es la mejora de la calidad del producto final, sin una disminución del costo. ¿Cuánto vale esta mejora? ¿En qué medida esta mejora de la calidad ha influido en el hecho de que una gran petrolera le haya comprado a usted, en lugar de a algún competidor japonés? Una autocrítica que debemos hacer es reconocer que no solemos hacer este tipo de análisis. Nos complace la mejora técnica, pero nos aburre medir su impacto económico. Tenemos que aprender a superar esta tendencia. Tenemos que hacer un esfuerzo deliberado por encontrar argumentos cuantitativos para "vender" nuestro producto, con el fin de mejorar nuestras posibilidades de obtener apoyo para futuros esfuerzos.

7. Cooperación internacional

Podemos preguntarnos si la colaboración internacional sirvió para poner en marcha nuestro Centro de Investigación Industrial. Me gustaría mencionar dos casos en los que encontramos cooperación internacional.

7.1. Primer intento

El primero fue con una agencia internacional de investigación y desarrollo ubicada en Canadá. Cuando todavía estábamos en la empresa de ingeniería, le presentamos a esta agencia una propuesta para el desarrollo de un sistema experto para un problema de diseño de ingeniería.

Lo que hicimos en ese momento fue describir los logros más significativos de nuestra empresa: canales y túneles a través de los Andes, puentes inmensos, cientos de kilómetros de rutas, todo tipo de plantas industriales, etc. Ellos nos respondieron señalando que su empresa solo apoyaba a las pequeñas y medianas empresas, y que la nuestra no cumplía con los requisitos para serlo.

Al principio esta respuesta me asombró, pero luego he reflexionado sobre el problema de las pequeñas y medianas empresas. Es cierto que una parte considerable del Producto Bruto Nacional es generado por estas empresas, y que es mucho más difícil para ellas activar un programa de investigación y desarrollo que para una gran empresa, pero también es cierto que cualquier programa dirigido a una de estas empresas tendrá un impacto económico aproximadamente proporcional a la producción de esa empresa. Por lo tanto, el impacto de un programa de este tipo tendrá la posibilidad de ser significativo sólo si varias de empresas se unen en algún tipo de cooperación.

8. Segundo intento

Es curioso que nuestro segundo encuentro con la cooperación internacional, aunque hasta ahora no había aportado ni un solo dólar, ni un solo experto, a nuestro funcionamiento ha tenido tanto impacto en la vida de nuestro Centro. A continuación, explicaré cómo se produjo esta situación paradójica.

Hace algunos años, luego del periodo inicial de trabajar con perfil bajo, presentamos una propuesta al gobierno italiano. Ésta se inscribió en programas con la colaboración del Ministerio de Asuntos Exteriores de Italia, que proveía asistencia a los países en vías de desarrollo. En algunos casos, el problema de estos programas era que el receptor era incapaz de proporcionar el mantenimiento de los equipos donados, y sueldos decentes para los investigadores. En nuestro caso no existía ese peligro porque contábamos con el respaldo de una empresa fuerte que no permitiría que se desperdiciara un subsidio.

Mientras esperábamos el subsidio, nuestra operación creció y empezamos a comprar algunos equipos. Nuestro proyecto fue considerado prioritario por las autoridades argentinas e italianas, e incluso sobrevivió a un cambio en la administración de nuestro país. A pesar de todo esto, cada vez que se reunía el Comité de financiación italiano, algo sucedía y nunca se asignaron fondos a nuestro proyecto. Pero la mera existencia de esta posible ayuda, la idea de que pudiéramos obtener esta máquina de pruebas, este horno experimental o esa potente estación de trabajo, nos obligó a empezar a soñar. Y los sueños empezaron a materializarse poco a poco, sin una sola lira por parte del gobierno italiano. Esta es una forma sutil en la que la cooperación internacional puede funcionar: como una especie de catalizador que estimula nuestros sueños.

9. Recursos humanos

Antes de concluir, me gustaría mencionar otro requisito muy importante para el éxito de un programa de investigación aplicada: el factor humano. Para poner en marcha un programa de este tipo se necesita el mayor nivel posible de excelencia académica. Esto es así no sólo por las dificultades técnicas reales que se presentan, sino también porque es la mejor garantía de que estas dificultades se aborden de forma abierta, honesta y objetiva, y de que no se esconda nada debajo de la alfombra.

En cuanto a los recursos humanos podemos incluso encontrar en algunos campos una ventaja competitiva en nuestros países en desarrollo. Esto no se debe a que seamos mejores o más inteligentes que los demás. Nuestros mejores empleados son tan buenos como los de los países desarrollados, y tienen una formación similar, muchas veces adquirida en universidades del exterior. La diferencia reside en que nuestra industria no puede competir en la vanguardia de la tecnología. Por lo tanto, mientras los mejores expertos en los países desarrollados se ocupan de procesos o materiales muy sofisticados, nuestros expertos, utilizando las mismas herramientas de investigación avanzadas, acaban trabajando en una clase diferente de problemas, problemas que no son tan glamorosos, ni están de moda y que nunca abordarían si trabajaran en un país desarrollado. Creo que debemos concentrar nuestros esfuerzos en estos problemas porque son relevantes para nuestras industrias, y nos dan una mejor oportunidad de competir.

10. Conclusiones

Quisiera terminar resumiendo mis argumentos en los siguientes puntos:

1. Sólo un mercado amplio y competitivo proporciona una base sólida para el desarrollo de la investigación aplicada en física.
2. La industria de los países en desarrollo no está acostumbrada a patrocinar este tipo de investigación, pero es posible que tenga que hacerlo en el futuro si quiere sobrevivir a las tendencias del mercado.
3. La cooperación internacional puede incentivar a la industria a lanzarse a programas de investigación aplicada.
4. Los recursos humanos de alto nivel son esenciales, pero existen, y en algunas en algunas áreas pueden incluso proporcionar una posición competitiva a los países en vías de desarrollo.

Agradecimientos

Aunque esta exposición se basa en experiencias personales, las ideas presentadas aquí se han desarrollado a través de numerosos debates con

varios colegas, entre los que me gustaría mencionar a Naren Bali, Raúl Boix Amat, Eduardo Dvorkin, Guillermo Fitzsimons y Carlos Pampillo. También quiero agradecerles a Roberto Rocca y Eduardo Baglietto: si hace 21 años no se hubieran arriesgado a contratar a un par de físicos de partículas para trabajar en una empresa de ingeniería argentina, muy probablemente yo no estaría hablando hoy en esta reunión.