

ECUADOR **Debate**

CONSEJO EDITORIAL

José Sánchez-Parga, Alberto Acosta, José Laso Ribadeneira,
Simón Espinosa, Diego Cornejo Menacho, Manuel Chiriboga,
Fredy Rivera Vélez, Marco Romero.

Director: - Francisco Rhon Dávila. Director Ejecutivo del CAAP
Primer Director: José Sánchez Parga. 1982-1991
Editor: Hernán Ibarra Crespo
Asistente General: Margarita Guachamín

REVISTA ESPECIALIZADA EN CIENCIAS SOCIALES

Publicación periódica que aparece tres veces al año. Los artículos y estudios impresos son canalizados a través de la Dirección y de los miembros del Consejo Editorial. Las opiniones, comentarios y análisis expresados en nuestras páginas son de exclusiva responsabilidad de quien los suscribe y no, necesariamente, de ECUADOR DEBATE.

© **ECUADOR DEBATE. CENTRO ANDINO DE ACCION POPULAR**

Se autoriza la reproducción total y parcial de nuestra información, siempre y cuando se cite expresamente como fuente a ECUADOR DEBATE.

SUSCRIPCIONES

Valor anual, tres números:

EXTERIOR: US\$ 45

ECUADOR: US\$ 15,50

EJEMPLAR SUELTO: EXTERIOR US\$. 15

EJEMPLAR SUELTO: ECUADOR US\$ 5,50

ECUADOR DEBATE

Apartado Aéreo 17-15-173B, Quito-Ecuador

Telf: 2522763 . Fax: (5932) 2568452

E-mail: caaporg.ec@uio.satnet.net

Redacción: Diego Martín de Utreras 733 y Selva Alegre, Quito.

PORTADA

Gisela Calderón/Magenta

DIAGRAMACION

Martha Vinuesa

IMPRESION

Albazul Offset

ECUADOR DEBATE 90

Quito-Ecuador, Diciembre 2013

PRESENTACION / 3-6

COYUNTURA

Diálogo de coyuntura: concentración del poder y conservadurización social / 7-22

La Iniciativa Yasuní-ITT: ¿El fin de una utopía ambiental?

Luz Elisa Cervantes Valdivieso / 23-36

Conflictividad socio-política: Julio-Octubre 2013 / 37-46

TEMA CENTRAL

Tecnocracia y democracia en el ocaso de la “Universidad Ecuatoriana”

Iván Carvajal / 47-64

Reflexiones sobre los rankings internacionales de las universidades

Oswaldo Barsky / 65-86

Cambiar el alma... ¿exiliar a las humanidades?

Catalina León Galarza / 87-102

Efectos de la meritocracia en el acceso a la educación universitaria ecuatoriana

Kintia Moreno Yáñez / 103-126

Enseñanza, investigación, transferencia tecnológica en la Universidad de Lovaina

François Dupret / 127-140

DEBATE AGRARIO-RURAL

Empleo Agrícola y no Agrícola en la Amazonía Ecuatoriana

Cristian Vasco; Byron Herrera; Shiram Vargas y Ruth Árias / 141-152

ANÁLISIS

Integración y nuevo regionalismo suramericano: escenarios y prospectivas

Fredy Rivera Vélez / 153-172

La interseccionalidad en la política identitaria de los Indígenas Evangélicos Ecuatorianos

Rickard Lalander / 173-198

2 Índice

RESEÑA

Una tragedia oculta / 199-204

Más vale pájaro en mano: crisis bancaria, ahorro y clases medias / 205-208

Enseñanza, investigación, transferencia tecnológica en la Universidad de Lovaina

Francois Dupret*

El presente estudio se enfoca principalmente en el caso de las matemáticas y su aplicación en tecnologías de punta; sin embargo constituye un buen ejemplo de cómo pensar y tratar la ciencia básica o fundamental y la ciencia aplicada tanto en la enseñanza como en la investigación y en la transferencia tecnológica en la formación universitaria. Y ello en el marco de los cambios por los que atraviesa la universidad.

1. Introducción

Hoy día, los extraordinarios progresos tecnológicos realizados, a un ritmo sin cesar acelerado desde la revolución industrial (sobre todo a partir de los años 1950), han penetrado completamente todos los rincones de nuestra vida corriente. Ejemplos destacables conciernen a sectores como el de las comunicaciones o de la información, pero también el de los transportes, los electrodomésticos o la construcción. Se pensará típicamente en la aparición del teléfono portátil y la computadora personal, a los trenes de alta velocidad, a los progresos increíbles de la aviación civil, del automóvil y técnicas médicas (como las prótesis), pero también al uso generalizado de una multiplicidad de objetos, como por ejemplo, las lavadoras.

En contraste con este cambio completo de nuestro modo de vida, es particularmente sorprendente constatar, caricaturizando un poco las cosas, que las tecnologías que lo han hecho posible son prácticamente ignoradas por la gran mayoría de la gente, que considera el progreso tecnológico como un logro sin comprender y ni siquiera interesarse a los métodos requeridos para conseguirlo, y por ello mismo sin tener la mínima conciencia de su complejidad a veces muy grande y de sus vinculaciones con la ciencia fundamental.

Y sin embargo, el desarrollo tecnológico no está abocado a reducir su velocidad sino todo lo contrario. No sólo crece sin cesar la demanda de los que se benefician de él, sino también y sobre todo, la globalización de la economía hace que una población cada vez

* Profesor en la Universidad Católica de Louvain de matemáticas, física aplicada y simulación de ingenierías numéricas de los procedimientos industriales. Presidente de la comisión de doctorados para las reformas universitarias, dirigiendo durante su carrera un equipo de investigación sobre modelización numérica de los procedimientos de formatización de la materia.

más numerosa esté llamada a acceder a dicho desarrollo tecnológico. Esta situación genera además nuevas problemáticas como el crecimiento significativo de la contaminación en diversos niveles, la rarefacción de los recursos naturales y toda una serie de otras dificultades, que imperativamente requieren soluciones tecnológicas muy avanzadas para poder resolverlas.

En resumen, se trata de proseguir sin discontinuidad el progreso tecnológico, al mismo tiempo que se reduce drásticamente la polución y el consumo de recursos (energéticos y de materias primas), que están asociados a tal progreso. De nuevo, aunque estos problemas sean bien conocidos del gran público, éste es poco consciente de la complejidad de los métodos, que será necesario desarrollar, para resolverlos, y de su relación con la ciencia fundamental.

De acuerdo a estas consideraciones, reviste un interés cada vez más creciente el análisis del proceso que conduce de la ciencia básica a sus aplicaciones; la que parte de los principios fundamentales de las matemáticas y de la física, para conducir hasta la utilización de estas disciplinas, para resolver los problemas de la más alta tecnología. Todo esto también concierne a la metodología de la enseñanza de las ciencias en una perspectiva orientada a su aplicación. Son estos temas los que constituyen el objeto del presente capítulo.

2. La modelización numérica de los procedimientos

Volviendo a las técnicas de formalización de la materia, nos basaremos en dos procedimientos principales para

ilustrar nuestro propósito, a saber el moldeado por inyección de los plásticos, los compuestos y la producción de los cristales semi-conductores.

Este procedimiento del moldeamiento por inyección puede ser resumido de la manera siguiente: el plástico fundido es inicialmente introducido en un molde, el cual es a su vez enfriado; cuando el plástico se solidifica, y se abre el molde, la pieza formada es entonces extraída y el ciclo recomienza. Este procedimiento permite la producción masiva de una multitud de objetos, muchos de ellos corrientes y otros de componentes más complejos. De ello retendremos aquí las dos aplicaciones siguientes: (i) diversas prótesis y componente biomédicos como válvulas, es decir componentes de extraordinaria precisión que deben tener una gran solidez y una crecida resistencia al desgaste; y (ii) ciertas partes de los aviones, mucho más ligeras pero casi tanto más resistentes que los componentes metálicos clásicos, de tal manera que el aliviamiento que resulta de su utilización permite una economía significativa de carburante.

La producción de cristales es el procedimiento por el cual grandes lingotes de silicio monocristalino son elaborados en los hornos, para ser a continuación cortados en láminas («wafers») y sobre los cuales serán implantados millares de transistores, unidades de memoria, etcétera; es decir todos los componentes electrónicos de base, constitutivos de los instrumentos de cálculo y de comunicación omnipresentes en nuestra vida corriente. Es necesario precisar que este procedimiento es muy complejo y que nunca los teléfonos móviles o las computadoras portátiles que utilizamos dia-

riamente no alcancen las performances que esperamos de ellos, si la producción de estos grandes cristales no ha sido efectuada en las condiciones que les garantizan una cualidad casi perfecta.

El punto neurálgico sobre el que queremos insistir aquí es que la estrategia de producción utilizada – es decir el método de moldeamiento o de producción – condiciona muy fuertemente la calidad del producto final. En otras palabras, la manera como el plástico fundido es inyectado en el molde (la temperatura inicial del plástico y del molde, la cantidad de inyección y la disposición del o de los orificios de inyección) todo ello ejerce una influencia determinante sobre las propiedades finales del producto, por ejemplo en términos de resistencia mecánica.

De igual manera, la disposición adecuada de los escudos térmicos y de los aislantes en el horno de producción de un cristal, así como la elección de diversos parámetros como la velocidad de crecimiento del cristal permiten controlar minuciosamente su evolución termina en curso de crecimiento, su calidad final, y por consiguiente la calidad de los transistores, de las unidades de memoria y otros elementos manufacturados sobre los «wafers» laminados en este cristal.

Para optimizar los procedimientos de formatización de la materia, hay manera de controlarlos en el detalle, lo cual permiten hacer las computadoras modernas con una precisión cada vez más perfeccionada. Más concretamente, partiendo de la física detallada del procedimiento a ser optimizado (el moldeamiento por inyección o la producción de microcristales), un modelo matemático es inicialmente elaborado para describir

esta física por relaciones matemáticas precisas. Típicamente este modelo proporciona las relaciones que gobiernan el vertido del plástico fundido en el molde o aquellas otras relaciones que gobiernan la transferencia de calor en el horno de crecimiento. Después, un método de cálculo apropiado es desarrollado para resolver el problema así planteado y el problema toma entonces la forma de un sistema de ecuaciones copuladas, que comprende centenares de miles o de millones de posibilidades desconocidas (pues se busca la solución en su detalle). El algoritmo del cálculo es entonces implementado en un programa, que es ejecutado por computadora.

En general, los usuarios industriales de los programas de simulación de este tipo perfeccionan sus procedimientos por una estrategia de ensayo y error. Partiendo de una cierta particularización del procedimiento, modifican sucesivamente sus diferentes parámetros, para cada vez calcular el efecto de la modificación sobre el resultado predicho por el programa de cálculo, y esto hasta la obtención de un producto de óptima calidad. Se habla a veces de experiencias «numéricas», cuyo costo es mucho menos elevado que el de las experiencias reales.

3. Los desafíos de la enseñanza de materias abstractas

Se habrá podido comprender ya que las matemáticas son el lenguaje de la física, que la física gobierna todas las tecnologías avanzadas de formatización de la materia, y que la optimización de estas tecnologías pasa por la utilización de las técnicas de cálculo y de las com-

putadoras más performantes, para simular los procedimientos identificados y analizarlos en detalle por medio de experiencias numéricas.

En esta óptica, el desafío planteado a la enseñanza universitaria es evidente. Según una concepción clásica de la enseñanza universitaria, es necesario dominar un lenguaje antes de estudiar toda teoría expresada en este lenguaje. Se requiere, por consiguiente, dominar primero las matemáticas y más particularmente el análisis infinitesimal antes de aprender la física. De igual manera, es preciso primero aprender la física, y en particular la física matemática (considerada aquí en el sentido particular de la mecánica de los medios continuos, es decir la mecánica de los fluidos y de los sólidos y de las transferencias de calor) antes de aprender la simulación de los procedimientos industriales en particular.

Sin embargo, para retomar la reflexión a partir del origen de esta cadena de aprendizajes, las matemáticas representan un conjunto de teorías abstractas, cuyo estudio debe realizarse entonces sin ver a donde conducen estas teorías. Este problema se encuentra al interior del aprendizaje de las matemáticas, ya que el profesor está obligado a elaborar la teoría que enseña un curso tras otro, apoyándose cada vez sobre los principios desarrollados en los cursos precedentes. Resulta obvio que este modo de aprendizaje por estratos sucesivos es particularmente desagradable, ya que exige a los estudiantes que pongan regularmente a nivel sus conocimientos, haciendo que toda desconexión se traduzca inevitablemente en una pérdida inmediata del contacto con la enseñanza. En palabras más simples, el estu-

dante no comprende entonces lo que el profesor cuenta y su asistencia al curso se vuelve completamente ineficaz, es decir inútil. A un nivel más elevado, el estudiante «débil», que no ha asimilado completamente el análisis infinitesimal, tendrá las mayores dificultades para aprender la mecánica de los fluidos y de los sólidos, que se apoyan totalmente sobre esta teoría matemática.

En la enseñanza clásica, hay que reconocer que los problemas aquí evocados se resuelven efectivamente por un mecanismo de selección. Sólo los «buenos» estudiantes, es decir aquellos que están en condiciones de trabajar regularmente según el esquema de aprendizaje presentado más arriba, podrán franquear con éxito las etapas requeridas, para llegar a convertirse después en investigadores «brillantes» y finalmente alcanzar los puestos importantes en la universidad o la industria. Por el contrario, todos los otros estudiantes (es decir, la mayoría) seguirá un esquema diferente. Los que aprueban sus estudios, lo consiguen porque más bien se han hecho profesionales del examen que expertos en las materias que supuestamente han aprendido. Aprueban porque con habilidad llegan a saber lo que el profesor espera que le digan, y a convencerle de su progreso, y no tanto porque han llegado a comprender la materia en toda su profundidad. Es preciso notar, lo cual es muy importante, que esto no significa en modo alguno que estos estudiantes harán más tarde una mala carrera en la industria. Al contrario, sus capacidades evidentes de adaptación harán de ellos con frecuencia muy buenos profesionales. Por el contrario no serían más que científicos e investigadores de mediocre calidad.

Sin caer en un idealismo excesivo, es necesario reconocer que este esquema clásico comporta serias lagunas. Todo un conjunto de estudiantes, y en particular aquellos que tienen problemas personales, familiares o sociales, podrán encontrarse fácilmente excluidos de un aprendizaje en profundidad, simplemente porque, en un determinado momento, han «roto» con sus estudios y no les ha sido ya posible después recuperar un tren, que no les ha esperado. Además de las serias reservas ante la injusticia de este proceso, nuestra opinión es que la sociedad tiene mucha necesidad de desarrollar todas las fuerzas con las que puede enfrentar los desafíos evocados más arriba. El mejoramiento de las performances de la enseñanza universitaria, y en particular de la enseñanza de las ciencias en una perspectiva aplicada, sigue siendo un objetivo de absoluta actualidad.

Ante estos problemas tan evidentes, se ha iniciado una profunda reforma de los dos primeros años de estudio de las ingenierías («candidaturas») en la Universidad Católica de Lovaina a mediados de los años 2000. Esta reforma se ha inspirado muy ampliamente en las metodologías llamadas de «aprendizaje por problemas» y «aprendizaje por proyectos», ya puestas en práctica en Universidades del Norte de Europa. Muy brevemente, la idea consiste en favorecer la contextualización situacional de las teorías que se quiere enseñar, presentándolas en la perspectiva de las aplicaciones previstas.

Esta reforma, por desgracia, ha chocado con un cierto número de dificultades que es útil enumerar:

- En primer lugar, el costo de la puesta en práctica de métodos de aprendizaje por problemas y por proyectos no había sido tomado en cuenta en la agenda de cargas de la reforma. Este costo, en términos de personal de acompañamiento didáctico es sin embargo muy importante, mucho más que los métodos clásicos.
- En segundo lugar, en el caso particular de las matemáticas y de la física, estos métodos tienen un efecto perverso, que consiste en sortear los problemas efectivos de la enseñanza de estas materias abstractas (las que han sido mencionadas más arriba) en lugar de resolverlos realmente. De hecho, la enseñanza se vuelve entonces demasiado descriptiva y generalista. A título de ejemplo, las demostraciones se vuelven una parte marginal de la enseñanza de las matemáticas, cuando precisamente son esenciales para el matemático, puesto que son ellas las que justifican el establecimiento de una teoría (es en las demostraciones donde se descubre la necesidad de elaborar las hipótesis).
- Finalmente, y este es el principal problema, el profesor y sus asistentes se encuentran desde ahora constreñidos a entrar en una suerte de «molde didáctico», fuera del cual no hay salvación.

A estas dificultades queremos añadir una constatación personal muy decepcionante, a saber que la reforma de las candidaturas (dos primeros años de la carrera), no ha tenido más que un impacto limitado sobre los conocimientos de los estudiantes. Considerando a título de ejemplo el caso de la mecánica de

los medios continuos – una rama de la físicamatemática enseñada en tercer año de la formación universitaria – hemos observado que el estudiante «medio» cometía exactamente las mismas faltas que antes... dando cuenta así de un aprendizaje algo mediocre y carente de exigencias y de rigor. De otro lado, eran siempre los estudiantes muy buenos, quienes obtenían un máximo de beneficios de la reforma.

No podremos sacar conclusiones definitivas sobre un asunto tan complejo como la enseñanza de materias abstractas en la Universidad, y por eso nuestro objetivo no será más que proponer aquí un cierto número de recomendaciones, que pudieran servir de faros a una futura reflexión.

La enseñanza debe permanecer fundamentalmente confiada a las personas, y la relación entre el profesor o sus asistentes y el estudiante debe ocupar el centro del debate. Ninguna teoría de la enseñanza debe contradecir este principio fundamental. Sostener esto supone aceptar que una misma materia pueda ser enseñada de manera muy diferente por diferentes profesores. Significa aceptar también que ciertas enseñanzas sean mal prodigadas. Es el rescate de un sistema, donde el profesor y sus asistentes son absolutamente responsables de la elección de su estrategia pedagógica. Pensamos de hecho que los beneficios de una personalización de la enseñanza son mucho más importantes que sus desventajas.

a) En primer lugar, es la condición *sine que non* para obtener una implicación personal de los docentes en sus tareas. Además, este sistema garantiza que personas fuera de toda norma puedan

sin embargo expresar su punto de vista, lo que es esencial en un contexto universitario. No se trata aquí de denigrar el interés de una reflexión pedagógica, sino más bien de destacar que es al enseñante que compete de elegir el método que quiere aplicar. En este caso, su libertad de elegir implica la posibilidad de hacer una opción que se extiende también a los asistentes (son ellos quienes organizan, por ejemplo, las tareas prácticas de ciertos cursos), y pensamos que el profesor hará bien de confiarles la responsabilidad a los enseñantes, y que ésta sea controlada *a posteriori*.

b) De manera concomitante a la responsabilidad de los docentes, es preciso responsabilizar a los estudiantes ante sus estudios. Esta apuesta es evidente en el mundo desarrollado, donde la evolución de las mentalidades ha modificado completamente la relación profesor – estudiantes, y donde éstos se presentan con mucha frecuencia como «consumidores de enseñanzas». La experiencia nos ha mostrado que el mismo problema se plantea de hecho en el caso de estudiantes en desplazamiento, originarios de países en desarrollo y que parecen haber heredado esta misma mentalidad. Responsabilizar a los estudiantes significa hacerles comprender sin ambigüedad que las dificultades que deben superar dependen ante todo de ellos mismos, es decir de su compromiso o involucramiento personal en sus propios estudios. Es necesario para ello poner a su disposición todos los medios (incluidos los humanos como las ayudas pedagógicas), de los cuales pueden servirse para progresar. La existencia de estos medios debe serles claramente comunicada.

c) La enseñanza de las matemáticas y de la física no puede en ningún caso evacuar la exigencia de rigor, porque ésta es una de las mayores apuestas del proceso universitario. En particular, la enseñanza de las matemáticas debe comprender la elaboración de una teoría estructurada y las demostraciones asociadas a ella, incluso si éstas son molestas. La enseñanza de la física debe conducir al estudiante a enfrentar las teorías más abstractas en su expresión matemática formal.

d) Más allá de estas consideraciones principales, una sola recomendación merece ser retenida: es necesario multiplicar las aproximaciones pedagógicas y los puntos de vista, a partir de los cuales los estudiantes son invitados a abordar sus materias; se requiere diversificar las fuentes de aprendizaje que se les ofrece; es necesario en general que la enseñanza no esté fijada por una sola estrategia pedagógica; ésta no debe ser el hecho de personas particulares sino de una comunidad de enseñantes. Sólo de este modo las teorías pedagógicas pueden encontrar su interés. En particular el aprendizaje por problemas y por proyectos tiene un potencial muy rico y fecundo, a condición de que sea puesto en práctica en este espíritu educativo.

e) Un último punto de gran importancia merece ser destacado. En efecto, reflexionar en la pedagogía universitaria corre el riesgo de generar un proceso muy autárquico y bastante vanal, si no se realiza en un contexto más general. En otras palabras, es necesario también pensar en la formación que los estudiantes han recibido antes de entrar en la universidad, y este problema es parti-

cularmente sensible en el caso de la enseñanza de materias abstractas. ¿Cómo de hecho iniciar los estudiantes al rigor de la lógica si éste se encuentra cada vez más ausente de sus programas de estudio en la enseñanza secundaria? ¿Cómo iniciarlos a la física si los programas de las ciencias están desconectados de las matemáticas? Hay pues lugar para establecer una conexión estrecha entre los programas universitarios y los estudios secundarios que los preceden. Ésta debe ser la misión de las universidades y de los enseñantes de secundaria (no de los gobernantes) de desarrollar este tipo de vínculos.

4. Elaboración de programas de especialidad y la internacionalización de la enseñanza

Apenas se ha secado la tinta de la reforma de las candidaturas de los estudios de ingenierías en la Universidad Católica de Lovaina que una nueva reforma comienza a ser trabajada. El objetivo era totalmente diferente. La armonización de los estudios superiores en Europa (llamada «proceso de Bolonia») debía de hecho ser efectuada con la finalidad de crear un «Espacio europeo de la enseñanza superior». Bélgica había firmado el acuerdo de Bolonia y por consiguiente la Universidad Católica de Lovaina debía adaptar a él sus programas de estudios.

De otro lado, al interior de la misma universidad, esta reforma iba a proporcionar el inicio de una profunda reflexión sobre la elaboración de los programas de estudios, a partir de un tema fundacional: «Gestionar su propia formación». La idea era de claramente per-

mitir al estudiante convertirse él mismo en el arquitecto de su programa de estudios, más allá de la clásica elección de sus cursos opcionales en un marco académico predefinido, y de integrar esta reforma en el proceso de Bolonia.

En resumen, el acuerdo de Bolonia preveía que los estudios superiores fueran desde ahora efectuados en 5 años, agrupados en dos partes, la primera de 3 años (el «bachillerato») y la segunda de 2 años (el «master»). Muchas disposiciones estaban destinadas a facilitar los intercambios de estudiantes europeos en este marco. Hay que señalar que los estudios de ingeniería en Lovaina se realizaban ya en 5 años, pero se encontraban subdivididos en una primera parte de 2 años («candidaturas») y una segunda parte de 3 años («años técnicos»).

De manera muy simplificada, el objetivo consistía en reagrupar las candidaturas y el primer año técnico en un bachillerato diplomado, mientras que los dos primeros años técnicos debían formar la estructura de la maestría; todo ello comprendido en un espíritu de renovación completa de la opción por parte de los estudiantes de su especialidad y de sus cursos optativos. Hay que añadir igualmente que la especialidad de ingeniería mecánica, a la que prestaremos una particular atención, ya había sido objeto de una tal renovación en el curso de los años 2000. Esta renovación había obtenido un gran éxito por parte de los estudiantes.

Nuestra intención aquí no es hacer la historia completa de todos los trabajos que han sido realizados en la Universidad Católica de Lovaina para poner

en práctica la reforma de Bolonia en el caso particular de los estudios de ingeniería mecánica. Para precisar nuestro objetivo comencemos por observar previamente que el tema del presente artículo es analizar en profundidad el procedimiento que la enseñanza universitaria requiere cumplir por parte de los estudiantes (y después, de los investigadores). Este proceso es ante todo un proceso hacia la rigurosidad. En su principio este proceso es difícil y austero e incomoda mucho a los estudiantes.

¿Cómo entonces mantener el espíritu en una estructura de enseñanza, donde es el mismo estudiante quien se convierte en el principal arquitecto de su programa de estudios? ¿Cómo evitar que los estudiantes no se orienten demasiado sistemáticamente hacia los cursos más fáciles, divertidos y populares, pero sin alcanzar una real profundidad? Esta visión es evidentemente caricatural y debe ser matizada, pero el problema es real y concreto. Señalemos que este desarrollo es complementario del precedente, donde la misma cuestión se planteaba desde el ángulo de la pedagogía de la enseñanza, mientras que aquí se plantea desde el ángulo de la estructuración de la enseñanza.

Se puede decir de manera bastante general que los profesores responsables de la puesta en práctica efectiva de la reforma para los estudios de ingeniería han inmediatamente identificado con precisión cómo sus especialidades respectivas debían ser estructuradas y cómo integrar esta estructura en la reforma. Los profesores de ingeniería mecánica sabían muy bien lo que era necesario para la especialidad de «ingeniería mecánica», los

profesores de ingeniería eléctrica también conocían lo que necesitaba la especialidad de «ingeniero electricista», y también los físicos sabían lo que necesitaba el «ingeniero físico», etcétera.

Cada uno conocía bien el perímetro de su «territorio», lo que constituía el núcleo y debía ser obligatorio, lo que se encontraba en su periferia y podía ser opcional, así como las pistas que podían ponerse en evidencia en su especialidad (como las pistas «aeronáutica», «energía» o «formatización de materiales» para ingenierías mecánicas), y también cómo construir pasarelas hacia las otras especialidades o definir sinérgias (por ejemplo, para volver a nuestro tema inicial, la sinergia natural entre mecánica y ciencia de los materiales). Entonces, a este nivel la reforma desembarcaría en un real éxito, incluido el objetivo de permitir a los estudiantes desde ahora gestionar su propia formación en un marco estructurado.

Por el contrario, la reforma no ha progresado o muy poco en cuanto a las materias de base, es decir ante todo las matemáticas y la física en su enseñanza durante la primera mitad del bachillerato. Ni ha habido una toma de conciencia colectiva de la importancia de estas materias ni la búsqueda de consensos sobre la manera en que debería haber evolucionado su enseñanza. Esto puede ser imputado a muchas causas contingentes:

- la reforma precedente de las candidaturas de los estudios de ingeniería acababa de terminarse y la mayoría de los responsables consideraba que esta reforma había ya abordado y regulado la enseñanza de las materias

de base: no había lugar por consiguiente a regresar sobre el tema;

- los diferentes participantes defendían cada uno su «territorio», que conocían bien; por el contrario, no había un real coordinador o «campeón», capaz de situarse por encima del conjunto y de convencer a los otros participantes de la necesidad de interrogarse también y prioritariamente sobre las materias de base;
- el vínculo entre los estudios de ciencias (físicas y matemáticas) y los estudios de ingeniería se había aflojado mucho en el curso de los años; así, los dos conjuntos de formación se habían vuelto cada vez más disociados, lo que resultaba ante todo de la voluntad de los ingenieros de dar un carácter aplicado a sus cursos; consecuencia de este alejamiento fue que la enseñanza de las matemáticas y de la física a los estudiantes de ingeniería fue menos que antes competencia de los matemáticos o de los físicos «profesionales».

Pensamos que las razones invocadas más arriba, a pesar de su pertinencia, no deben ocultar el hecho que muy pocos profesores, y no sólo en los estudios de ingeniería, son realmente sensibles al hecho que los estudios consisten ante todo en llevar a cabo un proceso, mucho más que asimilar («tragar») una gran cantidad de conocimientos considerados indispensables. En este caso, el aprendizaje de base adquiere una importancia creciente, incluidos estos aspectos metodológicos (el aprendizaje de la rigurosidad), como ha sido repetido en los desarrollos precedentes.

Terminaremos este capítulo con algunas reflexiones sobre la internaciona-

lización de la enseñanza, que era uno de los objetivos principales de la reforma de Bolonia. En primer lugar, y brevemente, observaremos que la reforma de Bolonia desemboca con éxito a poner en práctica un sistema eficaz de intercambio de estudiantes entre países europeos y que los principios de este sistema han podido ser extendidos sin dificultad a los intercambios con otras regiones del mundo. Por consiguiente, técnicamente el sistema funciona, siendo la idea que un estudiante se desplaza al extranjero para hacer un año o medio año de estudios lo más cercanos posibles a los que haría en su propia universidad, y por la cual será diplomado. Por el contrario, muchos efectos secundarios hacen que en realidad los intercambios de estudiantes ocurran de manera muy diferente a la prevista. Aquí hay que distinguir el caso de estudiantes de la Universidad de Lovaina, que parten al extranjero y de los estudiantes extranjeros que vienen a ésta.

El programa de maestría para los ingenieros de Lovaina prevé dos tipos de estancia en el extranjero: durante un año completo y durante un semestre. Las estancias del primer tipo transcurren casi exclusivamente en primer año, mientras que las de segundo tipo transcurren casi exclusivamente en la primera mitad del segundo año, siendo la segunda mitad consagrada a su trabajo de fin de estudios en el seno de la institución. He aquí algunos comentarios:

- un temor frecuente entre los profesores es perder sus estudiantes más brillantes, es decir aquellos de los que esperan que se dedicarán a la investigación después de sus estudios;

- numerosos estudiantes hoy no conciben terminar sus estudios sin que una estancia en el extranjero sea inscrita en su CV; se ha convertido casi en un «must», una suerte de snobismo; y además es necesario partir lo más lejos posible; la calidad de los estudios de la universidad de acogida se vuelve un criterio secundario;
- no se puede negar el interés de una estancia en el extranjero para un estudiante, pues la necesidad de adaptarse a un sistema y a mentalidades diferentes es extremadamente formativo; más aún, un desplazamiento al extranjero podrá con frecuencia redinamizar los estudios de un estudiante «débil» aportándole nuevas motivaciones.

En otro sentido, el mayor problema es la falta de atracción de Lovaina respecto de las universidades angófonas o de las universidades del sur de Europa, y ello por razones sin relación con la cualidad de los estudios. El balance de los intercambios de los estudiantes de ingeniería desde o hacia Lovaina se presenta de hecho muy desequilibrado. A ello se añade el problema que ciertos estudiantes pueden tener un nivel demasiado bajo respecto al de los estudios de Lovaina.

En conclusión, la situación actual es bastante contrastada. Si es preciso insistir sobre el carácter muy formativo de las estancias en el extranjero para los estudiantes, también es necesario reconocer que no es por este medio que en general enriquecerán su formación fundamental. ¿Se trata de una preocupación de moda?

5. La transferencia tecnológica

Al final de sus estudios de ingeniería, estudiantes cada vez más numerosos optan por hacer una carrera de investigación, con frecuencia llevando a cabo una tesis de doctorado. La situación de las tesis ha cambiado mucho en la universidad de Lovaina y también en otros lugares durante las últimas décadas. Su número ha crecido considerablemente. Ya no es posible para un profesor hacer carrera sin haber realizado investigaciones y por consiguiente también de haber revisado tesis. De otro lado, la relación industria-universidad también ha evolucionado profundamente. De hecho, la actividad industrial se ha modificado extraordinariamente, puesto que una parte muy significativa de las empresas ha sido deslocalizada fuera de Europa (sobre todo, en un principio, las actividades primarias, pero este movimiento se ha extendido a una enorme gama de tecnologías).

De otro lado, toda una sería de la información y de la comunicación, por ejemplo). Simultáneamente también las mismas universidades han cambiado. Se han convertido en contrapartes pero de manera completa de la innovación tecnológica e igualmente creadoras de empresas. Nuestro objetivo aquí es analizar cómo hoy las tesis se inscriben en una prolongación de los estudios – en su procedimiento–, tomando como ejemplo genérico la investigación en modelización numérica de la formatización de la materia.

El estudiante que comienza una tesis de doctorado, en la mayoría de los casos, ha empezado por establecer el contacto con un profesor (su futuro promo-

tor o director de tesis), con la finalidad de examinar los temas de tesis posibles y de tomar una decisión. En esta ocasión, el estudiante habrá podido verificar la adecuación de las investigaciones, que le son propuestas con sus aspiraciones personales, mientras que su director de tesis, por su parte, habrá podido examinar el dossier académico del estudiante y verificar en cierta medida su capacidad para emprender una tesis de doctorado sobre el tema propuesto. Además de ello, habrá seleccionado un modo adecuado de financiamiento de la tesis. En el caso que nos ocupa, este género de financiamiento puede ser obtenido por medio de una beca de investigación, por un proyecto regional, nacional o europeo, o por medio de un contrato específico con una empresa. En resumen, se puede decir que, como las tesis comienzan por una elección recíproca, su curso inicial se desarrolla generalmente bien. Además, en el transcurso de duración de la tesis, el doctorando se encuentra en cierto modo protegido, de manera que su objetivo casi único consista en hacer progresar la investigación de su tesis.

¿Donde están entonces las dificultades de una investigación de doctorado en el presente contexto? El problema es que una tesis digna de este nombre debe enfocarse hacia investigaciones situadas «en la frontera del conocimiento». Esto significa que el investigador deberá recorrer esencialmente por sí mismo, el camino (a veces largo y con frecuencia en constante alargamiento), que conduce desde los principios de base de la ciencia a esta frontera del conocimiento. Recordemos que nuestra reflexión se articula aquí sobre la investigación en mo-

delización numérica de procedimientos de transformación de la materia. En este caso, se constata sin dificultad que el doctorando debe efectuar su investigación en un marco científico completamente pluridisciplinario lo que representa una inmensa dificultad. Por eso, tarde o temprano deberá dominar todos los siguientes ámbitos:

- el análisis infinitesimal (rama de las matemáticas, que constituye el lenguaje de la física teórica y aplicada – cuyos modelos están representados por ecuaciones llamadas «derivadas parciales»);
- la mecánica de los fluidos (viscosos o viscoelásticos) y de los sólidos (elásticos, plásticos, etcétera.), las transferencias de calor (por conducción, convección o irradiación), los cambios de fase (solidificación, cristalización, etcétera), así como toda una serie de fenómenos físicos, particulares, que gobiernan los procesos de modelización;
- el análisis numérico, para elaborar un método de cálculo capaz de resolver el problema planteado – una dificultad considerable en razón de la talla y de la no-linearidad de los sistemas a ser resueltos;
- las técnicas de programación, para incorporar los algoritmos así desarrollados en un programa susceptible de ser implementado en computadora.

Es inútil decir, aunque sea evidente, que este objetivo es completamente inaccesible. Justamente por esta razón los principios, a partir de los cuales la formación de ingenieros habría sido concebida y puesta en práctica, adquieran todo su sentido – como un procedi-

mento más que como la acumulación de una multitud de conocimientos. Los investigadores deben en primer lugar ser capaces de reflexionar y aprender por sí mismos, leer los artículos de manera crítica, participar en las discusiones científicas y conferencias, etcétera. Ciertamente todo esto se aprende pero se trata ante todo de una cuestión de un comportamiento, aunque es al inicio de sus estudios (e incluso antes) que hubieran debido adquirir esta mentalidad.

Una atención especial merece igualmente el trabajo en equipo, porque éste condiciona con mucha frecuencia la capacidad de un grupo de investigación para llegar colectivamente a logros de un cierto nivel. En particular, en el área de modelización de los procedimientos de formatización de la materia (como la inyección de polímeros y compuestos o el crecimiento de cristales semi-conductores), la investigación pasa casi necesariamente por la realización colectiva de un programa de simulación numérica.

La organización de un equipo estructurado representa entonces una condición indispensable para que el mantenimiento del programa de cálculo esté garantizado y que su desarrollo pueda proseguir durante muchos años. Hay que notar que en general, los equipos de investigación se auto-organizan espontánea y fácilmente. Mencionamos también que el aprendizaje del trabajo en grupo había sido colocado en el centro de la pedagogía desarrollada por la reforma de las candidaturas de los estudios de ingeniería en Lovaina en torno a los años 2000.

Así pues, más que nunca el papel del director de investigaciones es esen-

cial. Hoy es necesaria mucha experiencia para elegir temas de investigación importantes e interesantes: se requiere conocer el contexto internacional y poder ser reconocido en él; se necesita también poder identificar la dificultad de ciertos temas y eventualmente definir las etapas accesibles para abordarlos: en ciencias aplicadas es preciso igualmente tener una clara visión de la relación entre teorías fundamentales y aplicaciones. Pero es sobre todo en su relación directa con sus doctorandos, que el director de tesis va a desempeñar un papel esencial, ya que debe seguir su progresión con la mayor atención pero sin por ello substituirlos en su trabajo. Debe también vigilar la rigurosidad de su trabajo, informarles sobre las revistas y las publicaciones más importantes en el ámbito de su investigación y garantizar la coherencia del funcionamiento de su equipo. En ciencias aplicadas como en todas las otras, la investigación es ante todo una actividad humana.

En la ambientación un poco ideal que acabamos de describir la creatividad de los investigadores podrá expresarse con todo su vigor. De hecho, contrariamente a lo que ocurre cuando la investigación se encuentra confinada por problemáticas demasiado estrechas, nunca la rigurosidad ha supuesto un obstáculo a la creatividad. Señalemos también que ésta es una de las principales fuerzas del mundo universitario occidental, donde la libertad de cada uno en su proceso permanece fuertemente privilegiada respecto a una actitud demasiado escolar o disciplinar.

Para concluir este capítulo, destacaremos finalmente el hecho que, por des-

gracia, en ciencias aplicadas, la relación entre investigación e industria se ha vuelto mucho más difícil que antes. Esto resulta evidentemente de la crisis económica global, que ha generado en las empresas un estado de espíritu relativamente cerrado, con una visión cada vez más a corto plazo, una ausencia de anticipación del futuro, una excesiva voluntad de economías (sobre todo en I & D), la protección casi histórica de secretos, que en realidad no son tales, y muchos otros efectos perversos. Respecto de estos problemas, los poderes públicos desempeñan un papel capital, porque sólo ellos pueden establecer, a escala nacional o internacional, mecanismos susceptibles de compensar estos efectos.

6. Conclusión

Nuestro objetivo en este artículo era reflexionar sobre el itinerario que un estudiante en ingeniería ha de cumplir en el curso de su formación y en la manera que la universidad puede enmarcar y estructurar su aprendizaje. Como además esta formación puede ulteriormente conducir a la investigación, hemos querido analizar el pasaje de los estudios a la investigación en el caso del estudio de los procedimientos de transformación de la materia. El interés de esta opción resulta del papel determinante que estas tecnologías son llamadas a desempeñar en la resolución de numerosos problemas del mundo moderno.

El análisis desarrollado nos ha conducido a interrogarnos principalmente sobre la enseñanza de las materias fundamentales (matemáticas y física, y a partir de ellas, la mecánica de los flujos líquidos y de los sólidos y las transferen-

cias de calor); es decir, disciplinas de contenido abstracto y a veces incómodo, pero que constituyen al mismo tiempo el soporte, sobre el cual se apoya toda la enseñanza ulterior. Sin descartar el interés de nuevos métodos pedagógicos como el aprendizaje por problemas o por proyectos, hemos querido repetir aquí con insistencia, que los estudios son un proceso – que en realidad se inicia mucho antes de la universidad – y que en esta óptica el aprendizaje de la rigurosidad y de la abstracción, que son inherentes a estas ciencias, constituyen el componente esencial de la enseñanza.

Así pues, progresos destacables han sido realizados durante los últimos 15 años en la Universidad Católica de Lovaina en la estructuración de todos los estudios y su internacionalización. Queda mucho por hacer y reajustes regulares serán evidentemente necesarios.

Cuando un estudiante elige hacer investigación al término de sus estudios, y en particular, cuando ha optado hacer investigación en ciencias aplicadas, por ejemplo en la modelización numérica de los procedimientos, será ante todo su

capacidad de aprendizaje, de interrogarse sobre el sentido aparente de lo más profundo de sus descubrimientos, lo que podrá conducirlo con éxito a resultados que podrá publicar y también a una tesis de doctorado. Desarrollar este tipo de aptitud, en directa prolongación de un anterior aprendizaje fundado sobre una metodología rigurosa, es una condición *sine qua non* para efectuar investigaciones en un ambiente tan complejo y pluridisciplinario. Recordemos que no hay antagonismo, todo lo contrario, entre rigurosidad y creatividad en una disciplina.

Concluiremos este análisis también recordando hasta qué punto la enseñanza y la investigación son actividades humanas. Nada puede remplazar las relaciones personales y la relación entre un profesor y sus estudiantes, entre un director de tesis y sus doctorandos, individualmente o en grupo; son tales relaciones las que condicionan el éxito de su común actividad. Más aún, el mejor medio de enfrentar todos los problemas de la enseñanza y de la investigación consiste en responsabilizar a todos los actores.