



Asociación Colombiana  
de Facultades de Ingeniería



# Acciones y cambios en las facultades de ingeniería

**Foros académicos**  
**Reunión Nacional ACOFI 2011**

# Conferencia

## Cómo se forma un ingeniero, papeles de la escuela y de la práctica

Daniel Reséndiz Núñez

Después de haber escuchado la conferencia del doctor Fernando Broncano<sup>1</sup>, inicio mis palabras con una reflexión sobre sus planteamientos. Comentaba con él, al término de su brillante presentación, que estaba sorprendido, porque después de muchos años de discutir con muchísima gente sobre estos temas, en particular con filósofos como él, encontraba por primera vez una coincidencia sin necesidad de aproximaciones sucesivas. Fue realmente sorprendente y grato encontrar esa coincidencia. Tengo muchos amigos filósofos, tanto mexicanos como de otras nacionalidades, entre ellos Fernando Savater, y con todos ellos he tenido ocasión de discutir diversos temas, entre otros lo que es la ingeniería, lo que hacen y lo que no hacen los ingenieros, etc. Pues bien, esta es la primera vez que un filósofo, espontáneamente, expresa delante de mí ideas con las que coincido plenamente, lo que ustedes notaran en la presentación que voy a hacer.

### Cómo se forma un ingeniero

Esta cuestión obviamente interesa a multitud de personas, como las que estamos aquí, y a otras que no se encuentran hoy en esta sala. Interesa en primer lugar a las escuelas de ingeniería; pero también interesa a las empresas y a las organizaciones en las que laboran los ingenieros, e interesa a los ingenieros en general. La respuesta a esta pregunta no es un enunciado que podamos improvisar. Hay una larga tradición al respecto, una tradición que, por cierto, data de mucho más atrás que las fechas en las que aparecen las escuelas de ingeniería, cuestión que ya señaló el doctor Broncano.

Hay ingenieros desde hace milenios, desde que la humanidad tuvo que comenzar a organizarse de un modo tal que cada individuo no tuviera que responsabilizarse de hacer todo, de producir todo lo que cada quien necesitaba; sino que comenzó cierta especialización. Desde hace al menos tres milenios hay evidencias de que se inició dicha especialización en la cuenca del mediterráneo. La gente comenzó especializarse en producir el vestido, en construir las casas, etc. Podemos decir que, desde entonces, hay evidencias de que hay ingenieros. El famoso código de Hammurabi se refiere justamente a las responsabilidades que le corresponden a alguien que construye casas que se derrumban. Esa es una evidencia documentada

---

<sup>1</sup> Ver la conferencia en la página 249.

de la existencia de profesionales ocupados más o menos en los mismos asuntos de los que hoy nos ocupamos los ingenieros.

Las escuelas de ingeniería, en cambio, datan de fechas mucho más recientes: unos pocos siglos. Por tanto, la ingeniería no nació con las escuelas de ingeniería, sino mucho antes. En el siglo XVIII, después de la fundación del método científico y su formalización por Galileo, los conocimientos en todos los campos comenzaron a crecer explosivamente, lo cual hizo necesario sistematizar la manera de transmitirlos. Entonces comienzan a surgir las escuelas de ingeniería. Antes y durante los milenios anteriores, a los que me he referido, los ingenieros aprendían haciendo, supervisados por quienes ya sabían. Es decir, la famosa relación entre el aprendiz y el maestro que iba haciendo a los nuevos maestros.

Surgen las escuelas cuando los conocimientos ya han crecido tanto que es indispensable comenzar a sistematizar su trasmisión. La necesidad de ingenieros se multiplica después de la revolución industrial. La revolución industrial es una evidencia de que la ingeniería no necesariamente va antecedida por la ciencia. La termodinámica, en particular, nació mucho después de que la revolución industrial comenzara a transformar la manera de producción en la Inglaterra del siglo XVII.

Las primeras escuelas de ingeniería se crean en Europa, en el siglo XIII, en Alemania, Francia, España. Curiosamente, muy poco después, aparece la primera escuela de ingeniería en América: el Real Seminario de Minas, fundado en México en 1792. Esta es una evidencia de cuánto hemos retrocedido en México desde aquellas fechas a las actuales. En Estados Unidos, la primera institución formadora de ingenieros el *Rensselaer Polytechnic Institute*, nació en el siglo XIX.

A partir de la fundación de las escuelas de ingeniería, los ingenieros dejan de formarse exclusivamente en la práctica profesional, como se formaban antes. En Latinoamérica en general, aunque desconozco el caso específico de Colombia, la responsabilidad en el cumplimiento de las condiciones que un ingeniero debe asegurar para obtener la licencia profesional se ha transferido indebidamente a las universidades. Aunque bien es cierto que esta situación ha comenzado a cambiar y va a cambiar muy rápidamente en el futuro, según preveo. En los países europeos, que son de más larga tradición desde el nacimiento de las escuelas de ingeniería, la licencia se otorga sólo después de que se han cumplido esas dos etapas a las que me he referido: la escolarizada y la de la práctica profesional supervisada. Después de esa práctica profesional supervisada, los colegios de ingenieros, las agrupaciones en las que están organizados los ingenieros que ya tienen licencia para ejercer, y previo un conjunto de cumplimientos de requisitos, otorgan la licencia para que un nuevo integrante del gremio pueda ejercer su profesión.

Esta segunda etapa, la de la formación en la práctica profesional supervisada, es importantísima porque hay multitud de cuestiones que en ella se aprenden y que solamente en ella se pueden aprender, porque son mucho más difíciles de transmitir que las cosas que se aprenden en la escuela, entre otras cuestiones, porque se trata de conocimientos, habilidades y capacidades que no están sistemáticamente documentadas como las que se enseñan en las escuelas. En esa práctica profesional supervisada se van aprendiendo todas esas cosas no debidamente documentadas que sólo se aprenden haciéndolas, viendo a otros hacerlas, probando el resultado de hacerlas, bajo la responsabilidad de alguien que ya tiene la experiencia para saber qué riesgos correr y qué riesgos no correr. A pesar de la enorme importancia que tiene lo que se aprende en la práctica profesional supervisada y después continuamente en la práctica profesional incluso por quienes ya tienen mucha experiencia, a pesar de eso, las escuelas se han vuelto mucho más visibles en la etapa de formación de ingenieros que en el aprendizaje en la práctica profesional.

Esto tiene una serie de riesgos e induce a una serie de errores, como por ejemplo, el de atribuir a las escuelas a la responsabilidad de que los ingenieros no sepan hacer ciertas cosas que debieran saber hacer. En general no las saben hacer porque no se pueden enseñar en las escuelas, y faltan esos conocimientos, esas capacidades, por el hecho de que han tenido una práctica profesional supervisada defectuosa.

Es muy frecuente oír a los empleadores de ingenieros, como todos ustedes seguramente lo habrán oído, y por cierto esa crítica se ha puesto de moda en la actualidad, quejarse de que los recién egresados de las escuelas de ingeniería carecen de ciertas capacidades que son muy importantes para el trabajo, que carecen de ciertos conocimientos que parecen muy elementales y que sin embargo no tienen, a pesar de haber salido, algunos, con excelentes calificaciones de la escuela. Se critica a las escuelas porque no están formando profesionales con el buen juicio profesional que es indispensable para ser un buen ingeniero; porque no están formando ingenieros con capacidad para trabajar en equipo productivamente; porque no están formando ingenieros con ese conjunto muy diverso y a veces muy sutil de capacidades que son indispensables para trabajar exitosamente en la práctica de la profesión. Esas críticas, por supuesto, son injustas, porque no le corresponde a la escuela enseñar esas cosas, y si se le presiona, como se le está presionando, para que las enseñe, lo que va a ocurrir es que dejará de enseñar otras cosas que sólo la escuela puede enseñar bien y que si no las enseña lastrarán el desarrollo de los futuros profesionales de la ingeniería. Es muy importante que estemos advertidos de estos riesgos y que sepamos que no le podemos echar encima a la escuela la responsabilidad de formar a los ingenieros en lo que deben aprender en la práctica, porque entonces vamos a distraer a las escuelas

y terminaran dando a los futuros ingenieros una formación inapropiada en lo que ellas sí pueden formar eficazmente.

Las habilidades y conocimientos empíricos, la capacidad de trabajo en equipo, el juicio profesional, que son capacidades que los empleadores valoran mucho, con buen tino, sólo se pueden aprender en la práctica profesional; en particular, en esa práctica inicial supervisada por quienes ya tienen tales capacidades.

### **Qué formación da la escuela**

La escuela es una institución especializada en transmitir conocimientos que están ya bien sistematizados, bien establecidos, que están documentados y que se pueden, en consecuencia, estudiar en libros o en documentos. Dan conocimiento y comprensión de las ciencias básicas y cierta capacidad para usarlas a fin de resolver problemas prácticos; dan un conocimiento profundo de ese conjunto enorme de ciencias que se llaman ciencias de la ingeniería, así como de las limitaciones de sus alcances. Estos dos conjuntos de conocimientos, el de las ciencias básicas y el de las ciencias de la ingeniería, constituyen el núcleo duro, central, indispensable, para el ulterior desarrollo de un profesional de la ingeniería, y sólo pueden adquirirse en la escuela. Si por ese fenómeno de inflación del currículo al que se refería también el doctor Broncano en su conferencia, presionamos a la escuela para que incorpore a los saberes que debe transmitir esos otros que se aprenden muy fácilmente en la práctica pero que son muy difíciles de adquirir en la escuela y consumen tiempo, vamos a descuidar la buena formación de las capacidades de los ingenieros en estos dos pilares duros y fundamentales.

Da también la escuela una capacidad individual para actualizar conocimientos y habilidades y para afinar luego esas habilidades de manera autodidacta. Es decir, la escuela enseña a estudiar, enseña a aprender, y enseña a aprender no solamente mediante el estudio de documentos. Enseña a aprender mediante la observación y comienza a enseñar también cómo se aprende de la práctica sistemática o qué se requiere para ser sistemático en la práctica de modo que esa práctica sistematizada dé conocimientos y capacidades.

La escuela, pues, no puede distraerse enseñando lo que se aprende mejor en la práctica, a pesar de la enorme presión que en estos tiempos están ejerciendo los empleadores. Esto hay que explicárselo a los empleadores, porque no tienen por qué saberlo por sí mismos. Es indispensable que los académicos, los educadores, se lo expliquemos, para que no haya esa confusión y ese riesgo de distorsión de la función de la escuela.

## Qué formación da la práctica

La práctica supervisada, como hemos visto inicialmente, da conocimientos extra científicos. La ingeniería sigue siendo un arte en multitud de sus facetas. Hay una enorme diversidad de conocimientos que no son todavía conocimientos científicos, que son conocimientos empíricos, indispensables para practicar la ingeniería y que sólo se pueden transmitir en la práctica, que sólo se pueden aprender haciendo. Esos son los conocimientos, las capacidades, que da la práctica profesional y sólo ella puede dar. En la escuela, cuando se trata de enseñar este tipo de cosas, lo más que se puede lograr es una simulación lejana de ese aprendizaje práctico, porque es sumamente difícil simular en la escuela todas las condiciones que se dan en la práctica profesional, en la que están presentes continuamente una infinidad de variables que es imposible modelar en la escuela.

Por esa razón la escuela no es un buen sitio para aprender lo que se aprende en la práctica, y por eso, a pesar de la mucha mayor visibilidad pública de las escuelas y de lo que las escuelas hacen actualmente, a pesar de la mucha mayor conciencia que hay en el público acerca de la importancia de la escuela, no se hace igual énfasis en algo que es tan importante como la escuela para la formación de ingenieros, que es la práctica profesional.

La práctica, con base en la buena formación teórica que dan las escuelas, permite desarrollar después el juicio profesional. El juicio profesional es una especie de destilado de orden superior basado en la comparación entre lo que la teoría dice y lo que enseña la observación en la práctica. Esta comparación no se puede hacer si no se sabe teoría, porque es la teoría la que permite predecir lo que va a ocurrir con el diseño que un ingeniero hace de cualquier estructura, de cualquier artefacto. La comparación entre lo que se predice y lo que se mide, lo que se observa en la práctica, es lo que va formando el juicio profesional. Quien no tiene y no maneja la teoría, no se acostumbra a hacer predicciones basadas en esas teorías. Por lo tanto, no va a acumular la sensibilidad que le permite comparar las predicciones de la teoría con las observaciones de la práctica y, en consecuencia, no va a ir formando, poco a poco, el juicio profesional.

Finalmente, esa formación en la práctica da lugar a que, después, durante toda su vida, el ingeniero vaya acumulando nuevos conocimientos, nuevas capacidades. Eso que tanto se aprecia en el mundo laboral, en el mundo del trabajo, es algo que se aprende continuamente: no importa cuántos años se tengan de práctica profesional, se sigue aprendiendo.

## Cómo se trabaja en equipo

En un equipo de trabajo en ingeniería, cada quien tiene una responsabilidad bien específica, bien definida, que no puede transferir a otro. Pero todos los integrantes del equipo, como pares, como responsables idénticos del conjunto de las acciones del equipo, tienen la obligación de discutir colectivamente los propósitos, las hipótesis, los hallazgos, las dudas y los resultados del trabajo de todos los miembros del equipo. En eso consiste, simplemente, el trabajo en equipo. Esta participación, por una parte individual en el cumplimiento de una responsabilidad específica, y por otra colectiva, entendiendo todo lo que el equipo está haciendo, verificando las hipótesis en los resultados, discutiendo las propuestas entre todos, va enriqueciendo a todos y cada uno de los integrantes del equipo. Esa es la manera de aprender en la práctica; ese es el modo como el ingeniero se enriquece a medida que trabaja.

Hemos mencionado el juicio profesional. ¿Qué es y cómo se adquiere el juicio profesional? No hay una definición universalmente aceptada, ni mucho menos. Pero justamente interesado, hace mucho tiempo, en tratar de encontrar una definición rigurosa y satisfactoria de ese valor importante en la profesión, encontré leyendo a Locke (1689), en su *Ensayo sobre el entendimiento humano*, la que me pareció una definición muy cercana a lo que mis propias vivencias me enseñaban. Dice él en ese *Ensayo*: “juicio es la capacidad de asumir como verdadera o falsa una aseveración, aun sin tener a mano una prueba fehaciente”. Me parece una definición excelente, que no ha sido mejorada, a pesar de que en los últimos decenios la psicología experimental ha estado trabajando, muy intensamente y con métodos muy rigurosos, para lograr definir de mejor manera qué es el juicio profesional. No hay una definición que yo haya encontrado, por lo menos para el caso de la ingeniería. Sí la hay, en cambio, en el caso de la medicina y ésta se puede trasladar de alguna manera para la ingeniería. La psicología experimental, probablemente por el hecho de que está hecha precisamente por un tipo de médico, ha estudiado mucho más el juicio profesional en el caso de la medicina que en el caso de la ingeniería, y, como digo, los hallazgos allí son fácilmente trasladables al caso de ingeniería. Nos vamos a referir a esto mas adelante.

Lo que podemos decir es que la definición de Locke es simplemente, pero nada menos, que una referencia a la necesidad de asignar una probabilidad a que una aseveración cualquiera sea verdadera o falsa, independientemente de los datos que tengamos. Es decir, es la asignación de una probabilidad *a priori*. Y en eso consiste precisamente el juicio profesional: es la capacidad de asignar una probabilidad *a priori* a una aseveración cualquiera.



No es el juicio profesional un don natural, sino el producto de un esfuerzo intelectual expreso, que es, como decía hace un rato, una especie de destilado del conocimiento y de orden superior a él. Requiere el conocimiento detallado de una teoría, requiere una capacidad de predicción, requiere un conjunto de observaciones y comparaciones entre lo que la teoría predice y lo que la práctica enseña. Cuando se acumula ese destilado a lo largo de los años, le da, o no le da, a alguien, eso que llamamos juicio profesional o buen juicio profesional.

En particular, ¿cómo adquiere el ingeniero su buen juicio profesional? Lo decía hace un momento: usando una y otra vez la ciencia para hacer predicciones, usando una y otra vez los conocimientos científicos que la escuela transmite para predecir cómo se van a comportar las cosas que diseña, y midiendo luego cómo se comportan en la realidad. Esta afirmación revela por qué el juicio profesional no es lo mismo que la experiencia de un ingeniero. Alguien puede tener una larguísima experiencia en la práctica profesional y no tener un juicio profesional. Si esa experiencia no se ha realizado comparando predicciones teóricas con observaciones en la práctica, si la experiencia no transcurre repitiendo una y otra vez este proceso, entonces el tiempo de ejercicio profesional no necesariamente da buen juicio profesional.

¿Cuál es la manera como se va acumulando ese destilado de orden superior al conocimiento al que nos hemos referido? Se va acumulando mediante el trabajo en equipo. Pensemos en el joven ingeniero, recién egresado de una escuela de ingeniería, que comienza su práctica profesional supervisada en el seno de un equipo de trabajo encargado de diseñar y construir ciertas cosas. Él va observando cómo proceden los otros integrantes del equipo que ya tienen mayor experiencia. Él va acumulando de ese modo un saber hacer, obteniéndolo tanto de los colegas de su equipo que tienen un poco más de experiencia que él, como de otros colegas del mismo equipo que tienen una experiencia muchísimo mayor que él. Va observando cuál es la diferencia entre las actitudes de estos distintos integrantes del equipo de trabajo y de ahí va sacando un juicio que le servirá de modelo para su desarrollo ulterior. Emulando a los demás, a los que ya tienen buen juicio, es como el joven que no lo tiene, lo va adquiriendo.

Los procesos intelectuales de la ingeniería son muy análogos a los de la medicina. Se parte de un estado insatisfactorio. En el caso de la medicina es un estado insatisfactorio de salud y en el caso de la ingeniería es un estado insatisfactorio en las condiciones materiales de la sociedad. De nuevo, otra coincidencia con lo expresado por el doctor Broncano: el ingeniero actúa cuando detecta ese estado insatisfactorio de condiciones materiales en la sociedad. El ingeniero está actuando como interprete de la sociedad, está interpretando lo que la sociedad necesita. Puede interpretarlo bien o mal; puede interpretarlo de manera muy diferente de aquella



en la que la sociedad misma lo interpreta. Cuando eso ocurre se desata un proceso dialéctico en el que, progresivamente, entre la tesis del ingeniero y la antítesis de la sociedad, se va generando eventualmente una síntesis. En ese momento es cuando se toma la decisión de hacer efectivamente lo que el ingeniero propone, cosa que no ocurre necesariamente de manera inmediata. Dicha toma de decisión requiere de esa dialéctica de interacción entre el ingeniero y la sociedad, una dialéctica en la que no todos los ingenieros están bien formados, porque exige que la práctica profesional supervisada que se tuvo haya sido una práctica profesional en la que los integrantes experimentados en el equipo de trabajo enseñaron expresamente al joven profesional en formación.

¿Cómo se realiza esa interacción dialéctica con la sociedad, que es indispensable y que resuelve el problema que planteaba ayer el doctor Broncano, acerca de la contradicción entre el experto y el conjunto la sociedad? La contradicción entre el experto y la sociedad es algo que ocurre sistemáticamente, por muchas razones. Entre otras, porque se trata de dos sujetos diferentes. Por un lado están los expertos, con una experiencia y una formación distinta a la de la sociedad. Por el otro, la sociedad tiene unas vivencias mucho más cercanas, pero no necesariamente tiene el juicio para interpretarlas. Se requiere de la dialéctica interactiva entre unos y otros para, eventualmente, resolver esos conflictos. Pero, primero, es necesaria la conciencia de que las diferencias entre experto y sociedad son naturales, que existen siempre, que deben manejarse, que deben resolverse. Eso exige entrenamiento por parte del experto. No podemos esperar que la sociedad tenga la experiencia del experto. La práctica del experto debe hacerlo capaz de disolver esas diferencias y, eventualmente, llegar a un acuerdo con la sociedad. En el caso de asuntos muy complejos, como los que la tecnología actual plantea, no es un proceso sencillo; pero es un proceso perfectamente realizable y que sólo fracasa o termina en un desaguisado cuando los expertos no tienen la capacidad, la voluntad, el tiempo y el entrenamiento para disolver esas diferencias. Es lo que está pasando concretamente en este momento en relación con el uso de la energía nuclear. Es lo que también está pasando en multitud de cuestiones relacionadas con los efectos de las obras de ingeniería en el medio ambiente. Es lo que está pasando en todo el campo de la práctica de la vida diaria en la que el conocimiento experto es indispensable, pero el acuerdo con la sociedad para aplicarlo es también indispensable, y si no se hace, el conflicto queda allí sin resolver y se agranda.

Decíamos que los procesos intelectuales de la ingeniería son muy similares a los de la medicina, y aludo a los de la medicina porque en esto todos tenemos experiencia, seamos o no médicos, porque todos hemos sido o somos pacientes. Una vez que se plantea el estado insatisfactorio de salud, o una vez que se plantea el estado insatisfactorio de condiciones materiales, se procede al *diagnostico*, que se llama así

tanto en la medicina como en la ingeniería. Luego se especifican soluciones a ese diagnóstico: esto se llama *prescripción* en medicina y *diseño* en ingeniería.

El diagnóstico, en síntesis, consiste en un viaje de ida y vuelta en el que primero se hace una conjetura, una simple conjetura, sobre la naturaleza del problema que se está enfrentando y sobre la teoría que podría explicarlo. Si esa conjetura se valida con observaciones en el terreno, esa conjetura vale para proceder de ahí en adelante; si no se valida, hay que hacer otra conjetura hasta encontrar una teoría válida de entre el acervo de teorías posibles. Por eso es importante la formación en la escuela, ya que da un acervo amplio de teorías que explican la realidad en el campo de la ingeniería en el que estamos trabajando. Cuanto más rico es este acervo, más alta probabilidad hay de que el ingeniero encuentre el diagnóstico del problema que observa.

¿Qué procesos intelectuales implica el diagnóstico? Implica un proceso que en lógica se llama de *abducción* o proceso conjetural, y se infiere en él qué teoría puede explicar el fenómeno que se está enfrentando. Una segunda etapa es la *deducción* y se comprueba procediendo en sentido contrario, deduciendo lo que esa teoría predice para el caso particular que se está estudiando. Se necesitan pues conocimientos y capacidades, así como un acervo de teorías científicas y de conocimientos empíricos. También se precisan una capacidad lógica de inferir por abducción o conjetura, una capacidad lógica de deducir o aplicar teorías generales a casos particulares y sobre todo, una capacidad de lidiar con la incertidumbre. La incertidumbre está omnipresente en la ingeniería, como lo está en todos los campos del conocimiento, como lo está en la vida, porque el mundo no es determinista: el mundo en que vivimos es un mundo probabilista. Por tanto, en vista de lo borroso, como llamaba el doctor Broncano a ese estado de cosas con las que continuamente nos enfrentamos, necesitamos medios para enfrentar la incertidumbre. La teoría de las probabilidades es un medio para lidiar con la incertidumbre, pero se aplica sólo a un conjunto muy pequeño y muy sencillo de incertidumbres. Toda la gama enorme de incertidumbres que están presentes en todas las decisiones que como ingenieros vamos tomando no se puede manejar con la teoría de probabilidades. ¿Cómo se manejan entonces? ¿Cuál es el instrumento con el que enfrentamos esa incertidumbre? Es el juicio profesional. Lo que Locke decía, la capacidad de considerar atinada o desatinada una aseveración cualquiera, con el conjunto limitadísimo de elementos de juicio que tenemos. El gran instrumento para enfrentar la incertidumbre es el juicio profesional. Por eso es tan importante. ¿Cómo se puede vivir sin juicio profesional? Depende de la ocupación a la que uno se dedique. Si se es ingeniero, no se puede vivir sin juicio profesional. Espero que mi siguiente comentario no lo tomen en un sentido injusto hacia los científicos. El científico no requiere tanto del juicio profesional como el ingeniero, porque el científico no está obligado a tomar

decisiones vitales si no tiene suficientes evidencias científicas que lo justifiquen. El científico no va ni siquiera a escribir un *paper* si no tiene todos los datos acerca de lo que va a decir en ese tema. El ingeniero, al que le encargaron resolver el problema de las inundaciones de un pueblo, tiene que tomar una decisión y no importa que sus conocimientos y las evidencias y los recursos que tenga sean muy limitados: tiene que tomar una decisión. Porque la ingeniería es eso: toma de decisiones para resolver problemas con los medios con que se cuenta. El ingeniero, por tanto, requiere indispensablemente del juicio profesional; o se paraliza, si no tiene juicio profesional. Claro que, en lugar de paralizarse, puede tomar decisiones más o menos aleatorias y producir un desastre.

De acuerdo con lo expuesto hasta ahora, vemos que de los conocimientos y capacidades que requiere el ingeniero para hacer diagnósticos, hay algunos que se aprenden mejor en la escuela, otros que se aprenden en la escuela y en la práctica profesional, y otros que se adquieren predominantemente en la práctica profesional aunque con apoyo de lo que se aprende en la escuela. Esto es importante saberlo, porque, como decíamos desde el principio, no todo se aprende en la escuela.

### **Qué es el diseño. Qué procesos implica**

Podemos dividir el diseño en tres etapas: diseño conceptual, verificación del diseño conceptual, y optimización y especificación del diseño. El diseño conceptual es un proceso esencialmente creativo y de síntesis. No es un proceso científico; tiene mucho más de artístico. En el momento de concebir un diseño conceptual para el problema que se le encomienda, el ingeniero está actuando mucho más como un artista, como un músico, como un pintor, como un escultor, que como un científico. El diseño conceptual es altamente subjetivo. No hay para cada problema un solo diseño válido; al contrario, cada problema admite multitud de diseños, en principio válidos, y el ingeniero creativo, que para esto sí se necesita creatividad, pone toda su subjetividad en el diseño. Es normal que dos ingenieros diferentes, enfrentados a la concepción de un diseño conceptual para un problema específico, escojan dos diseños conceptuales diferentes. Después viene la etapa de verificación del diseño en la que el ingeniero tiene que actuar como científico y tiene que probar si el diseño conceptual que inventó, que creó con su arte, efectivamente resuelve el problema. Más adelante viene la optimización de ese diseño y la especificación con todo detalle.

## Qué capacidades exige el diseño y cómo se adquieren

- Creatividad para generar diseños conceptuales congruentes con el diagnóstico **(P)**
- Conocimientos científicos **(E)** y empíricos **(P)**
- Capacidades lógicas de inducción, conjetura y deducción **(E/P)**
- Capacidad de contender con incertidumbres múltiples **(P/E)**
- Sensibilidad para simplificar sin distorsionar lo esencial **(P)**
- Capacidad de combinar conocimiento científico y empírico **(P)**

**Por tanto: a diseñar se aprende principalmente en la práctica**  
**E = Escuela P = Práctica**

En el cuadro anterior se ve la presencia de la escuela (E) y de la práctica (P) en cada una de las capacidades, con una síntesis final: “a diseñar se aprende principalmente en la práctica”. Decíamos que la incertidumbre es inevitable, que todo lo que estamos haciendo en el diagnóstico y en el diseño, está lleno de incertidumbre, es nebuloso y tenemos que saber lidiar con la incertidumbre, que es una exigencia de la ingeniería más que de ninguna otra actividad, como lo es también de la medicina, porque la incertidumbre es inherente a la naturaleza. Decíamos que el mundo no es determinista. La incertidumbre es también inseparable del conocimiento y lo es en el sentido más estricto del término, porque de los tres procesos o modos de inferencia lógica que existen, que son la conjetura, la inducción y la deducción, las dos primeras (conjetura e inducción) son procesos inciertos: no necesariamente son válidas las conclusiones a las que llegamos mediante estos procesos. El único de los tres procesos que produce resultados rigurosamente ciertos, a condición de que las premisas sean rigurosamente ciertas, es la deducción. Los otros dos son procesos inciertos, en los que se tiene que ensayar varias veces para probar cuál es el que reproduce lo que observamos en la realidad. Cuanto más sabemos, más dudas tenemos. Cuanto más sabemos, nos resulta más indispensable reconocer que el conocimiento que tenemos tiene un cierto grado, normalmente alto, de incertidumbre.

Esta situación tiene importantes consecuencias para el ingeniero. Ha de tomar decisiones pese a grandes incertidumbres, porque si quiere esperar hasta eliminar las incertidumbres, se paraliza y no va a poder hacer nada. Debe usar y ponderar la información y usar métodos diversos para tratar de reducir, de acotar, la incertidumbre; debe reconocer y manejar racionalmente la incertidumbre. Su principal herramienta para ello es el buen juicio profesional. Sólo en segundo lugar está la teoría de probabilidades como instrumento para estos fines.

La misión central del ingeniero no es una misión científica, ni la ingeniería es una ciencia. La ingeniería no tiene por propósito alcanzar la verdad. A la ingeniería no le importa alcanzar la verdad. Le importa alcanzar eficacia, es decir, que las cosas que hace, que propone, efectivamente resuelvan los problemas que quiere resolver, independientemente de que los conocimientos que utilizó para ello sean o no conocimientos científicos. Su función es una función profesional, que quiere decir de servicio a la sociedad y de responder ante ella por lo que hace. Esta misión la cumple sólo si compatibiliza los intereses sociales con los intereses de sus clientes.

Es decir, independientemente de que al ingeniero lo contrate un individuo físico o moral específico, su obligación al tomar decisiones no es exclusivamente servir a ese cliente. Aquí hago otra advertencia muy importante. Se ha puesto de moda que todo el mundo se certifica en los procesos ISO. No tengo ningún inconveniente que para que así se haga, con tal de que la firma de ingeniería que lo hace, o el ingeniero en particular que lo hace, sean conscientes de que, al contrario de lo que hacen las normas ISO, su cliente no es el único al que debe servir, ni el principal al que debe servir. Esto se lo tienen que explicar también a los clientes. Es decir, que por encima de dar el servicio al cliente, el ingeniero, que no es un simple técnico sino un profesional que debe responder ante la sociedad por sus decisiones, está al servicio de la sociedad. Un inversionista me puede contratar para que le diseñe un conjunto inmobiliario con el que va a hacer negocio. Por supuesto, este inversionista estará más contento si yo le reduzco al *mínimo minimorum* el costo de su inversión, para que su margen de utilidad sea alto, y yo tengo obligación de intentar hacerlo; pero hasta cierto límite. No puedo reducir el costo hasta el grado que ponga en alto riesgo la vida o los intereses económicos de quien después va a comprar al inversionista los departamentos o los despachos que estoy diseñando.

Esa responsabilidad sólo se puede cumplir bien, repito, si se es consciente de que hay intereses por encima de los del cliente; y el cliente debe saber bien que yo, ingeniero, estoy trabajando para cuidar y proteger esos intereses además de los suyos. Seré buen ingeniero en la medida en que compatibilice esos dos intereses. Esto es central en la práctica de la ingeniería. Esto es indispensable en la práctica de la ingeniería, o de otro modo se corren muchos riesgos.



La conclusión a la que llegamos es que el atributo tal vez más valioso de un ingeniero es su buen juicio, incluso en esto de la compatibilización de los intereses del cliente con los de la sociedad. La escuela debe advertir a sus estudiantes que no todo se aprende en la escuela. La escuela no se responsabiliza de enseñar todo al estudiante, no puede responsabilizarse de enseñarle todo lo que necesita para ser buen ingeniero. Le va a enseñar una cierta parte de esos conocimientos y capacidades, ya dijimos cuáles. Otros conocimientos y capacidades propios los va a tener que aprender en la práctica profesional supervisada, y otros más, a lo largo de la práctica profesional autónoma. La

escuela debe decir a los estudiantes que ese aprendizaje es tan importante como el que la escuela puede darles. Esto tienen que saberlo los jóvenes: parte de la obligación de la escuela es explicárselo.

### ***El rompecabezas de la ingeniería<sup>2</sup>***

Hay más cosas que podría decir al respecto, pero no lo hago porque lo pueden encontrar mucho más ampliamente discutido en mi libro que es el único que he escrito preocupándome de que no sean sólo los ingenieros quienes lo entiendan. De acuerdo con mis obligaciones profesionales, como académico, como investigador, como especialista, todo lo que he escrito, lo he escrito para que lo entiendan grupos muy pequeñitos de especialistas, de súper especialistas en los campos en los que he hecho investigación. Pero este libro lo escribí después de darme cuenta, tras años y años de sentir que estaba yo cumpliendo una obligación profesional como ingeniero de la práctica y como académico, de que me faltaba algo: ayudar a que se entendiera, no por los especialistas y por mis colegas ingenieros, sino por la sociedad en general, lo indispensable que es el trabajo conjunto de sociedad e ingeniería, para que los problemas de la sociedad efectivamente se puedan resolver. Soy de los que sostienen que un ingeniero no es capaz de resolver solo ningún problema que la sociedad le plantea, y sin la cooperación de la sociedad, entre otras cosas mediante este proceso dialéctico al que me refería hace un rato para eliminar las diferencias entre el experto y el resto de la sociedad, sin ese proceso que es de los más difíciles que la profesión plantea, no es posible resolver inteligentemente ningún problema.

<sup>2</sup> Libro escrito por Daniel Reséndiz Núñez, en el que habla de la importancia de cómo la ingeniería ha transformado el mundo durante siglos, por iniciativa de la sociedad o con su anuencia tácita. Sus creaciones han sido la clave para resolver innumerables problemas y cubrir múltiples necesidades de la humanidad, pero sus obras también suelen tener repercusiones negativas –casi siempre diferidas y a veces imprevistas– sobre nuestro entorno natural y social. Editorial: Fondo de Cultura Económica Ltda. (México, D.F.). Año de edición: 2008.

## Diálogo de pares



Una vez concluida la conferencia del ingeniero Daniel Reséndiz Núñez, tuvo lugar el diálogo del conferencista con los pares colombianos, ingenieros Julio César Cañón Rodríguez, profesor asociado de la facultad de ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia y Mauricio Duque Escobar, profesor asociado de la facultad de ingeniería

de la Universidad de los Andes. El diálogo fue moderado por el ingeniero Alberto Ocampo Valencia, Director de pregrado y maestría en ingeniería eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira. El diálogo contó con la activa participación de los dialogantes, tal como se verá en las siguientes páginas.

### Alberto Ocampo Valencia



Me corresponde moderar este diálogo dedicado al eje temático “Proceso de formación”, el cual tiene por objetivos, en primer lugar, analizar el perfil del estudiante ingeniería y estudiar las respuestas que dan las instituciones de educación superior de acuerdo con el mismo. Además, analizar las metodologías exitosas en los procesos enseñanza-aprendizaje. Iniciamos la sesión con las intervenciones de los ingenieros Cañón y Duque. Con las propuestas e inquietudes de los participantes alimentaremos la sesión y el profesor Reséndiz intervendrá oportunamente.

### Julio César Cañón



No hay que perder de vista que este ejercicio tiene un norte: identificar acciones y cambios en las facultades de ingeniería, razón por la que tendré en cuenta tanto esta observación como la conferencia del doctor Reséndiz. Hay que pensar y plantear cambios y acciones, pero no de cualquier tipo. Desde mi perspectiva, y hablo de la “parroquia”, es decir del caso colombiano, lo que hemos estado haciendo en los últimos



años, en la educación superior, y en particular en los programas de ingeniería, ha sido reaccionar frente a los estímulos del entorno, hasta llegar incluso a deformar los programas para adecuarlos a las exigencias del medio externo.

Hemos reaccionado de una manera bastante dócil frente a las exigencias estatales con relación al control. Hemos visto cómo, en los últimos años, ha caído sobre los programas un alud de mecanismos de control y de coerción externa, ciertamente con un ánimo académico, pero también con una posición muy clara de intervención. Si bien es cierto que no hay que decir un no absoluto al cambio, tampoco debemos aceptarlo sin comprenderlo bien. Los cambios deberían ser adecuados a elementos como los que escuchamos en estos ejercicios académicos. Hay que hacer un corte de cuentas y ver qué tanto de lo que se ha prometido se ha hecho, qué se está haciendo y qué se va a hacer. Esa debería ser la infraestructura de esos cambios.

“Lo que hemos estado haciendo en los últimos años, en la educación superior, y en particular en los programas de ingeniería, ha sido reaccionar frente a los estímulos del entorno, hasta llegar incluso a deformar los programas para adecuarlos a las exigencias del medio externo”.

El doctor Reséndiz decía que el sector de los empresarios se queja habitualmente de que las facultades de ingeniería no les entregan egresados con el perfil adecuado. Pero las facultades se quejan de que las escuelas de secundaria no les entregan estudiantes con el perfil necesario para adelantar la carrera. Y la educación secundaria, por supuesto, busca un doliente y lo encuentra en la educación primaria. Así se sigue culpando, uno tras otro, a todos los agentes hasta llegar a la unidad familiar y a la naturaleza humana. Nos encontramos, frente a un problema que se repite y frente al cual, en principio, diría uno que no se ha encontrado una respuesta coherente.

Hay que hacer cambios, pero racionales, medidos, que permitan hacer un discernimiento. En Colombia no existe academia de ingeniería y con esa ausencia es difícil trazar derroteros que puedan proyectarse incluso a la escuela primaria, para empezar a buscar, en este ámbito, a los ingenieros del futuro.

“En Colombia no existe academia de ingeniería y con esa ausencia es difícil trazar derroteros que puedan proyectarse incluso a la escuela primaria, para empezar a buscar, en este ámbito, a los ingenieros del futuro”.

## Mauricio Duque Escobar



La exposición del doctor Reséndiz me dejó varias preguntas, justamente porque respondió a varias de las inquietudes que tenía antes. Quiero comenzar por comentar el final de su intervención, porque, desde mi perspectiva, ahí está el núcleo que puede motivar una reflexión sobre lo que significa ser un profesional de la ingeniería.

Hace poco me reuní con el profesor Bernardo Toro, quien se ha desempeñado en el campo de la educación, y discutimos sobre lo que significa enseñar y ser profesional de la enseñanza. Tratamos de encontrar diferencias entre lo que significa enseñar y enseñar profesionalmente. El profesor Toro decía que todos somos capaces de enseñar. Los amigos les enseñan a los amigos; los padres les enseñan a los hijos... Toda persona está habilitada para enseñar. Pero, ¿toda persona está habilitada para enseñar profesionalmente? ¿Toda persona puede ser un profesional de la enseñanza? Él hacía una diferenciación que me parece importante: cuando se habla de una profesión se hace referencia a un conjunto de conocimientos, buenas prácticas, normas, ritos, mitos, procedimientos, que caracterizan su acción frente a un problema relevante para la sociedad. Y esta idea se ancla con lo que el profesor Reséndiz decía: un profesional no se debe únicamente al cliente que tiene enfrente, sino a una sociedad. Y eso generalmente se vincula con un conjunto de buenas prácticas que muchas veces han sido construidas, al menos algunas de ellas, de forma empírica; que son el resultado de hacer de forma repetida algunas cosas y que llevan a producir lo que uno define como buenas prácticas o normas. En la ingeniería pasa lo mismo. Cualquier persona, a su nivel, puede por ejemplo hacer algo de ingeniería. Uno lo ve en Colombia: el maestro de obra diseña y construye casas. Que lo haga profesionalmente es otra cosa, porque para ello se necesita conocer unos códigos que son fundamentales.

El segundo asunto interesante en la relación que el profesor Reséndiz estableció entre ingeniería y medicina es pensar en el tema de la práctica. Tengo algunas inquietudes al respecto. ¿Hasta dónde es responsable una escuela de ingenieros del tema de la práctica? El profesor Reséndiz nos hizo sugerencias frente a lo práctico. Sin embargo, en el caso de la medicina, las prácticas se hacen en lo que se llaman el internado y el rural. En el internado la interacción con los profesores es muy cercana. Se trata de un espacio que está racionalmente controlado por la intersección entre la escuela y la práctica. Me pregunto si en la ingeniería se puede hacer algo similar. Se pueden encontrar algunas respuestas. En el caso francés, que es el que conozco en Europa, el ingeniero normalmente, suma sobre sus cinco años de formación, cerca de un año de pasantías de corte industrial, basadas en

unos acuerdos entre las escuelas y los sitios de práctica. No se trata de un sitio de práctica completamente aislado de la escuela. Hay una relación y existe un nivel de conexión o control entre lo que está pasando en la escuela y lo que ocurre en la pasantía.

Dejo planteados estos dos temas. El primero tiene que ver con la concepción de lo que es un profesional y cómo formarlo efectivamente, lo cual va más allá de resolver simplemente unos problemas fuera de cualquier código o buenas prácticas. Y el segundo tema, sin duda fundamental, es la relación entre lo que se aprende en un aula de clase y la práctica. Al respecto, propongo un par de preguntas ¿Qué se debería aprender en los laboratorios y en los proyectos de la universidad? ¿Cómo generar, desde la universidad, el germen inicial para que después el estudiante sea capaz, en la práctica, de complementar y finalizar su aprendizaje?

### Daniel Reséndiz Núñez



Quiero dar una respuesta inicial al planteamiento respecto a qué cambios se deben hacer en la práctica. ¿Qué hacer para que en la ingeniería se dé esa práctica, ya muy bien establecida en casi todo el mundo, y que se da en el caso de la formación de los médicos? Es necesario que, como ocurre en los centros de salud donde reciben a los recién egresados y los hacen partícipes de los rituales de la práctica de la medicina vinculándolos a equipos de trabajo, en los que tienen funciones específicas, se piense en una experiencia similar en la ingeniería. Necesitamos una experiencia que brinde a los estudiantes la oportunidad de discutir colectivamente, con el resto de los integrantes del equipo, lo que hacen, las hipótesis en las que se basan y cómo se deben interpretar los resultados que están obteniendo.

En numerosos países europeos se hace sistemáticamente, y, en general de manera aceptable, en la práctica de la ingeniería en Estados Unidos. En consecuencia, no estaríamos inventando nada poco realista. En varios países, para recibir la *Licencia* como ingeniero profesional se requiere de la aprobación de un cuerpo representante del gremio de los ingenieros que ya tienen licencia. A esa aprobación se llega después de haber pasado cierto tiempo en el seno de un equipo profesional ocupado no de simular las condiciones, sino de hacer la práctica como tal y de haberse desempeñado como principiante dentro de un equipo. Después de haber cumplido los años de práctica supervisada por el resto del equipo con licencia profesional y de estar bajo su responsabilidad, puede acceder a un examen formal, que, de ser aprobado, lleva a la obtención de la *Licencia*. Para esto no hace falta sino que exista en el país un método especificado legalmente, que justamente es el que falta en nuestros países.

De hecho, en México hay una disposición de la Constitución Política que se concibió con buenas intenciones pero mal y en una época en la que no abundaban quienes supieran del tema. Se afirma que para el ejercicio de una profesión cualquiera, incluso la medicina, basta con tener el título otorgado por una universidad. Esto, hay que decirlo, es una aberración legal que por cierto no es fácil de resolver. Es posible que haya una manera de resolver el problema que no requiera una reforma constitucional, puesto que en el caso de la medicina sí está muy bien establecido por el gremio médico cuál es el procedimiento para cumplir esa práctica profesional supervisada y cómo ésta es indispensable para acceder a una licencia bien fundada para el ejercicio profesional.

No tengo duda de que los ingenieros nos podríamos poner de acuerdo para crear el equivalente al servicio o práctica profesional supervisada que los médicos ya tienen en México y en casi todo el mundo. Hay muy buenas razones para que esto haya ocurrido antes en la medicina que en otro campo, y es que todos estamos individualmente interesados en el ejercicio apropiado de la medicina. En la ingeniería es un poco más difícil lograr el consenso, pero sin duda éste es el camino.

### **Alberto Ocampo Valencia**

Propongo que ahora dialoguemos en torno a las siguientes preguntas del público:

- El doctor Reséndiz afirma que “el ingeniero aprende a diseñar en la práctica”. ¿Será que es el resultado de los procesos didácticos ortodoxos a los que se ve abocada la enseñanza de la ingeniería actual?
- Ante la propuesta de escenarios diferentes (escuela – práctica) para la formación de ingenieros, ¿cuáles son las fronteras de la escuela? ¿Cómo se enfrenta la existencia de distintos estilos de aprendizaje? Hay estudiantes que aprenden mejor primero con la práctica y luego reflexionando sobre ella. En el avance de la ciencia y la tecnología no siempre ocurre primero la teoría. Entonces, ¿cómo se puede innovar en la educación de la ingeniería?
- ¿Es más importante la práctica profesional que un trabajo de grado dirigido para la culminación de los planes de estudio en ingeniería?

### **Daniel Reséndiz Núñez**

Hice mucho énfasis en afirmar que la escuela no puede enseñar todo y en subrayar la importancia del aprendizaje en la práctica profesional; pero no quise decir que lo que enseña la escuela es irrelevante. Señalé varias veces la importancia de que el estudiante aprenda en la escuela lo que tiene que aprender allí, porque si no va a ser imposible desarrollar la práctica y continuar en el aprendizaje. Son dos fases

en el proceso de aprender, ambas indispensables e igual de importantes. No es sensato pretender que se intercambien las funciones de enseñanza entre la escuela y la práctica, porque los métodos con los que se aprende en cada una de ellas son radicalmente distintos. Son etapas distintas en todos los sentidos y cada una se tiene que cumplir debidamente para lograr la formación.

“No es sensato pretender que se intercambien las funciones de enseñanza entre la escuela y la práctica, porque los métodos con los que se aprende en cada una de ellas son radicalmente distintos”.

En cuanto al orden cronológico, me parece que primero debe ser la escuela y luego la práctica, porque el aprendizaje en esta última requiere del saber que da la primera. No es posible sacarle a la práctica alguna enseñanza si no se tiene la dotación de conocimientos teóricos que da la escuela. Que se pueden aprender muchas cosas en la práctica es cierto; pero en estos tiempos en los que tenemos que preocuparnos porque alguien no se pase toda su vida en su etapa formativa, la escuela desempeña un papel fundamental para lograr el uso eficiente del tiempo para fines de aprendizaje.

Por milenios, los ingenieros se han formado exclusivamente en la práctica, pero la cantidad de conocimiento sistematizado que había en esos tiempos era minúscula. Hoy los conocimientos científicamente fundados son tan voluminosos que no hay manera de transmitir en un tiempo razonable lo que cada tipo de ingeniería requiere en sus futuros practicantes.

### **Mauricio Duque Escobar**

Vuelvo al ejemplo del profesor Reséndiz porque me permite presentar de mejor manera cómo veo el tema con respecto a algunas de las preguntas que se plantearon. La medicina inicialmente fue una profesión fundamentalmente práctica. Había un aprendiz y alguien que sabía. El principiante aprendía las técnicas básicas con quien era su maestro. Posteriormente se estructuró esa formación y comenzaron a aparecer esos cuerpos de conocimiento que, como mencionó el profesor Reséndiz, aumentaron rápidamente con la utilización de estrategias denominadas método científico, y que permitieron de forma sistemática construir conocimiento a alta velocidad, desde una aproximación mucho más rigurosa. Esto obligó a que las escuelas se centraran en la enseñanza de una gran cantidad de contenidos que, además, fueron creciendo.

En algún momento, hace unas dos décadas, se empezó a ver que era imposible enseñar todo el cuerpo de conocimientos, que había crecido de tal forma que era

impensable enseñarlo en un tiempo racional. Además, parte de ese cuerpo de conocimientos, dentro de los procesos naturales que tiene la ciencia, va perdiendo su vigencia y empieza a ser reemplazado. En consecuencia, a veces se enseñaban conocimientos que, cuando llegaba el momento de utilizarlos, ya habían sido reemplazados por otros más eficientes o interesantes.

En los últimos años ha habido una vuelta del péndulo que pasó de lo práctico a lo fundamental y teórico, hacia un punto intermedio que se ha venido buscando en diferentes profesiones, entre ellas la medicina. La formación en medicina ahora utiliza intensivamente, en muchas facultades del mundo, el aprendizaje basado en problemas, que consiste, en enfrentar al estudiante, desde el comienzo de su carrera, a problemas realistas. Subrayo la palabra realistas porque, a menudo, no son problemas estrictamente reales, aunque son derivados de situaciones reales. Se trata de que los estudiantes vayan comprendiendo lo que van aprendiendo. Esto tiene una razón básica y fundamental: el aprendizaje humano es mucho más sencillo cuando la persona sabe para qué le sirve lo que está aprendiendo. Este es un tema que no estaba presente en las propuestas formativas de los años sesenta, setenta u ochenta, en los que el argumento formativo era: “apréndase esto porque le va a servir; créame que le va a servir”. El cerebro humano no trabaja de esa forma y requiere poder conectar las cosas para recordarlas. Cuantas más conexiones se generen con experiencias previas, hay más posibilidades de que las personas retengan lo que están aprendiendo.

“El aprendizaje humano es mucho más sencillo cuando la persona sabe para qué le sirve lo que está aprendiendo. (...) Cuantas más conexiones se generen con experiencias previas, hay más posibilidades de que las personas retengan lo que están aprendiendo”.

Hay programas que se articulan desde el comienzo en torno a pequeñas actividades que permiten al estudiante contextualizar lo que está aprendiendo, saber para qué le sirve lo que está aprendiendo. En otras palabras, que permiten al estudiante llegar a clase a responder las preguntas que ya tiene, y no a recibir una gran cantidad de información para preguntas que luego van a surgir.

Lo anterior no excluye un tema que para mí es fundamental y que ha sido reconocido por la comunidad académica en las últimas décadas: un profesional es una persona que tiene que estar dispuesta a aprender de por vida. En particular, la adquisición de experiencia práctica sólo puede hacerse sobre el terreno real. Por eso, éste es un tema del que deben ocuparse las facultades de ingeniería.

Un posible riesgo del mensaje del profesor Reséndiz, si se interpreta mal, es que dejemos de preocuparnos por la práctica de los estudiantes y simplemente digamos: “aquí está el estudiante que ya tiene la formación fundamental. Ahora miren ustedes cómo garantizan que este profesional desarrolle la práctica”. Ahí es donde la comunidad académica de ingeniería debería ser mucho más cauta y propositiva en la modificación de la forma como se da la licencia profesional en Colombia. Lo que dice el profesor Reséndiz sucede en la mayoría de países, salvo en los latinoamericanos: para que un ingeniero tenga licencia profesional, debe acreditar experiencia supervisada. Esto no sucede en Colombia. Inicialmente, con el título profesional se obtiene la licencia profesional. Lo único que media entre uno y otra es pagar medio o un salario mínimo, dependiendo del momento en que se haga. Realmente no hay una certificación social de que ese individuo, como profesional, conoce las buenas prácticas. Si observamos el sistema americano, la licencia profesional ni siquiera es válida en todo el territorio: es válida por estado, porque el ingeniero debe conocer las normas de cada estado; si no puede demostrar que conoce las normas, no puede ejercer la profesión.

### **Julio César Cañón**

Quiero referirme a algo que mencionó el profesor Mauricio Duque. Hay programas que exageran el discurso. Si uno escucha que la práctica es posterior y que la escuela tiene unos compromisos, se puede caer en la tentación de eliminar las cosas prácticas dentro de la escuela o incluso eliminar los laboratorios. Ayer se presentaron en esta Reunión Nacional experiencias importantes, como talleres y proyectos interdisciplinarios, que promueven los estudiantes de diferentes carreras y de distintos niveles, como formas alternativas de aproximación al trabajo profesional, sin renunciar, por supuesto, a la fundamentación.

Tengo una observación acerca de lo que solemos llamar pasantías que son una forma de acercamiento entre la escuela y la práctica, pero que no siempre se resuelven en beneficio de la solidez curricular. La mayoría de las veces son asuntos coyunturales que resuelven un problema administrativo de los programas y un problema operativo de alguna empresa. Así no se puede generar una comunidad de aprendizaje, en términos de hacer la práctica e ir construyendo proyectos de beneficio mutuo. Si hablamos de acciones y tareas, valdría la pena intercambiar experiencias sobre cómo se manejan los programas de ingeniería en el país y ver esos escenarios de trabajo final que se han mencionado y que están relacionados con la interacción entre distintos saberes.

Respecto a lo señalado por los profesores Daniel Reséndiz y Mauricio Duque, considero que, dentro de la arquitectura de los programas de ingeniería, sigue



existiendo esa aparente barrera que se atraviesa entre el ingreso a la universidad para estudiar ingeniería y la aparición de lo que uno suele llamar la carrera. Aunque se han reducido esas barreras, todavía muchos estudiantes no sienten que están estudiando ingeniería antes del cuarto o quinto semestre, cosa que no sucede con los estudiantes de medicina, para quienes su aproximación con el “anfiteatro”, con la anatomía, con la sangre, con el dolor, se da desde muy temprano. Esto explica, incluso, por qué los índices de deserción en carreras relacionadas con la salud son mucho menores que los índices de deserción en carreras de ingeniería.

### **Alberto Ocampo Valencia**

Estos planteamientos podríamos haberlos hecho en el siglo pasado y hubiesen sido válidos. Cuando pienso en acciones y cambios recuerdo el *Encuentro del Consejo Global de Decanos de Ingeniería Capítulo Latinoamérica*<sup>1</sup> que se celebró hace pocos días en la Universidad del Norte. Allí se afirmó que si no había cambios en infraestructura, tecnología y cultura docente, no se iba a avanzar mucho. ¿Ustedes consideran que es definitivo hacer cambios en esos tres elementos? ¿Piensan algo distinto respecto a la formación de ingenieros en el siglo XXI con relación a lo que se venía haciendo en el siglo pasado?

### **Mauricio Duque Escobar**

De los tres factores que usted menciona, el más importante es el de la cultura docente, porque finalmente en infraestructura, y lo he visto en algunas experiencias, se hacen grandes inversiones y poco sucede, salvo que se tienen muchas cosas para mostrar a los pares académicos... La cultura docente es fundamental y está asociada a un tema prioritario que tiene que ver con la construcción de un acuerdo común sobre qué significa formar ingenieros. Creo que sobre eso todavía hay mucho camino por recorrer: hay muchas posturas, pero no necesariamente existe un consenso. En el caso colombiano, tal como lo mencionaba el profesor Cañón, no existe el equivalente de una academia de ingeniería que se preocupe de ese tema. Los dolientes han sido las resoluciones que salen, el político bien intencionado que trata de sacar algo adelante o lo que puede suceder coyunturalmente. Estructuralmente, la discusión sobre la responsabilidad en la ingeniería y lo que significa formar ingenieros, no se han dado con la suficiente profundidad.

---

<sup>1</sup> El Global Engineering Deans -GEDC-, es una iniciativa surgida en 2008, por decanos de ingeniería de varias instituciones del mundo, el cual busca contribuir al avance en la educación de la ingeniería a nivel mundial, definiendo las características que debe tener la educación universitaria para responder a los retos del siglo XXI, promoviendo la innovación curricular y educativa, la vinculación con la industria y contribuyendo al desarrollo de políticas regionales que promuevan el avance de la ingeniería. Siguiendo estos lineamientos, algunos decanos de Latinoamérica consideraron necesaria la creación de un Capítulo Latinoamericano de dicha organización, cuya misión es servir como red global de decanos de ingeniería y apoyarse en las fortalezas colectivas para el avance de la educación, innovación e investigación en las diferentes ramas de la ingeniería.

El segundo factor que me parece clave, es el relativo a la docencia. La ingeniería, incluso a nivel internacional, tiene muy poca investigación en enseñanza. Una colega americana de la Universidad de Colorado, hizo un estudio en el que revisó cuántos artículos en las áreas de ciencias y de ingeniería presentaban realmente resultados en educación. Encontró que en ciencias sólo un 20% ó 30% de las publicaciones tenían rigor científico. El resto eran informativas: cumplían con la tarea de presentar experiencias pero no tenían ningún rigor científico. El caso de ingeniería fue aún peor: el porcentaje fue inferior al 5%. En ingeniería poco estamos investigando rigurosamente sobre la didáctica de la ingeniería, poco estamos haciendo por comprender qué es lo que hay que enseñar a los estudiantes, qué significa eso, cómo se enseña y dónde están las dificultades, que es lo que se conoce como investigación en didáctica de la disciplina. Hay que profundizar mucho más en el tema para montar procesos de enseñanza y de aprendizaje científicamente sustentados y que no partan simplemente de las buenas intenciones y del sentido común, entre otras cosas porque eso es lo que diferencia a un profesional de un técnico.

“En ingeniería poco estamos investigando rigurosamente sobre la didáctica de la ingeniería, poco estamos haciendo por comprender qué es lo que hay que enseñar a los estudiantes, (...), cómo se enseña y dónde están las dificultades, que es lo que se conoce como investigación en didáctica de la disciplina”.

## Julio César Cañón

Todas las preguntas que se escuchan en estos espacios necesitan de un responsable para materializar las respuestas. Las respuestas se vuelven realidad en el aula, en el gabinete o en la práctica, a través del profesor. No se hace mucho pidiendo estudiantes multidimensionales, de visión global, integrales, si los profesores, los responsables de conducir a esos estudiantes por el camino del aprendizaje, no tenemos una aproximación a esa dimensión.

Hablando de tareas y consignas, hay un tema que se ha mencionado repetidamente. Necesitamos dar el paso del profesor de asignatura, en el cual nos hemos mantenido por razones de comodidad y de relación laboral, a la del profesor de programa. Sólo cuando uno concibe lo que hace como integrante de una comunidad que entrega estudiantes a otra comunidad, la de los ingenieros, puede tener mejor noción del papel fundamental que desempeña en el proceso. Mientras la vinculación continúe siendo de tipo “funcionario”, va a ser muy complicado que el profesor adopte esas nuevas pautas. Si el profesor es un funcionario, termina su jornada a las cinco de la tarde y no tiene compromiso misional ni con el desarrollo de la profesión ni con la formación de los estudiantes. Así va a ser muy complicado responder a las necesidades que se detectan.

Uno mi reflexión anterior a un asunto que el profesor Broncano mencionó ayer: la responsabilidad social. Se hablaba de la cultura material. No solo es la cultura material, sino la búsqueda de la felicidad. Las Naciones Unidas aceptaron que la búsqueda de la felicidad es un derecho humano fundamental. La ingeniería está justamente para hacer personas felices, personas con una mejor calidad de vida. Ese es el discurso. La reflexión alrededor de ese discurso es que hemos fracasado universalmente en el logro de los *Objetivos del Milenio*. La ingeniería del mundo no fue capaz de satisfacer las pequeñas necesidades de la sociedad. Y aquí debemos hacer una reflexión muy profunda para nuestro existir como Asociación y como profesores. La búsqueda de la felicidad por parte de la sociedad es un compromiso, desde luego, de toda la sociedad; pero se materializa particularmente a través de los ingenieros. Esto habría que agregarlo a las consideraciones del profesor Duque acerca de la reconstitución del compromiso de los docentes de ingeniería.

### **Daniel Reséndiz Núñez**

¿Qué tan factible sería promover desde ACOFI una acción conjunta con los empleadores de los egresados de las escuelas de ingeniería para que hubiera una mejor comprensión de lo que hemos discutido acerca de la manera como se forman los ingenieros, y se comprometieran a facilitar y diseñar conjuntamente con las escuelas las formas de colaboración para que los egresados tuvieran la oportunidad de cumplir en condiciones apropiadas esa segunda fase, la de la práctica profesional, indispensable para su formación como ingenieros? Lo menos que puede resultar de esa experiencia es la comprensión, por parte de los empleadores públicos y privados, de su responsabilidad en la formación de ingenieros en esa segunda etapa formativa.

### **Alberto Ocampo Valencia**

¿Qué mensajes adicionales quieren dejar a la Reunión Nacional sobre la formación de ingenieros?

### **Mauricio Duque Escobar**

Retomo las palabras del Profesor Reséndiz. Creo que en Colombia nos urge revisar lo que significa la licencia profesional, así como las condiciones en las que se deben desarrollar los programas, particularmente en lo que tiene que ver con la experiencia práctica de los estudiantes. También es prioritario revisar la definición de lo que es un profesional de ingeniería, y hacer un trabajo con la sociedad que no se ha hecho aún: decirle a la sociedad qué es lo que hace un ingeniero. Parte de lo que sucede se debe justamente a que hay estereotipos sociales sobre lo que hace un ingeniero y esos estereotipos no necesariamente son ciertos ni favorables.

“Es prioritario revisar la definición de lo que es un profesional de ingeniería, y hacer un trabajo con la sociedad que no se ha hecho aún: decirle a la sociedad qué es lo que hace un ingeniero”.

## **Julio César Cañón**

Me hago eco de algo que hemos venido trabajando con el grupo Educing<sup>2</sup>, del cual hago parte. Es una invitación también a ACOFI para pensar en forma muy seria y concreta en la creación de algún tipo de dispositivo social que nos permita pensar el futuro de los ingenieros en Colombia. No hay un lugar de prospectiva profesional. No hay un lugar desde donde podamos ver si lo que se predica es lo mismo que, por lo menos, se intenta aplicar. No podemos seguir dependiendo de si los propósitos del Plan Nacional de Desarrollo están o no alineados con las propuestas académicas. ¿Quién hará la ingeniería del futuro? Los chicos y los jóvenes de hoy. Entonces hay que ver la calidad académica de la formación de las escuelas de ingenieros en Colombia y ver si está siendo lo suficientemente buena. En Colombia necesitamos contar con un sitio de pensamiento estratégico para la ingeniería y para la formación de ingenieros.

“Necesitamos contar con un sitio de pensamiento estratégico para la ingeniería y para la formación de ingenieros”.

---

<sup>2</sup> Grupo de investigación que trabaja en la caracterización de los estudiantes de ingeniería, la formación de profesores y los sistemas de calidad en educación superior en ingeniería

## Conferencia

### **La ingeniería como una disciplina humanística. El ingeniero como intérprete de los artefactos**

Fernando Broncano



La ingeniería se ha impuesto en la trama de las prácticas sociales y la educación como una nueva región epistémica entre el saber teórico y el práctico. Hasta el tiempo presente se ha desenvuelto en medio de una tensión persistente entre dos modelos: el científico y el práctico. En este trabajo abogo por la introducción de un tercer eje de referencia: el de la capacidad humanística de interpretación de las trayectorias antropológicas y antropogénicas como conjunto de especialidades

que tienen en sus manos buena parte de las transformaciones futuras de la historia. Propongo que consideremos a la ingeniería como una disciplina humanística: el arte de interpretar y crear una cultura material en la era tecnológica.

#### ***La estrategia del simbiote***

Si atendemos a la literatura de las humanidades, es decir, si miramos desde la orilla humanística de las dos culturas que, según C.P. Snow, guían el discurrir del río de la historia contemporánea, no encontraremos la figura del ingeniero instalada en altar alguno. Señor de la razón instrumental, si hubiese que aplicarle un calificativo apropiado sería, a tenor de la estadística de las alusiones en la literatura aludida, algo muy cercano al de *parásito*. El ingeniero se presenta como una figura que extrae la sangre de *Gaia*, el gran sistema geobiológico, alguien que explota sus recursos y enriquece a su empresa empobreciendo a las generaciones futuras. Se ha comparado al ingeniero con Odiseo, el rico en ardid y engaños, el que dice de sí mismo “soy nadie” y sólo atiende a la economía de los medios. Que en el lado opuesto esta figura se ensalce como el nuevo Prometeo, héroe de la revolución industrial que ha permitido el desarrollo y la creación de un mundo tecnológico, no socava la definición humanística, aunque sí su valoración. Las dos orillas coinciden en aquello que hace que una de ellas califique de parasitismo lo que la otra califica de astucia, a saber, la extendida convicción de que el ingeniero es simplemente alguien a quien le compete elegir el mejor camino para un fin que ha sido ya determinado de antemano, y que debe hacerlo aprovechando los recursos disponibles. No se suele hacer aquí una distinción entre la racionalidad económica y la racionalidad ingenieril:

lo que caracteriza su *ethos*, es decir, su estilo o costumbre, es la maximización del fin con el menor de los gastos en medios.

Atendamos, sin embargo, a una caracterización del método ingenieril como la que ofrece Billy Vaughn Koen, un ilustre profesor de ingeniería mecánica en la Universidad de Texas en Austin:

*“El método ingenieril (es) la estrategia para causar el mejor cambio en una situación mal entendida dentro de los recursos disponibles”<sup>1</sup>*

Esta definición es mucho más afinada que las que usualmente caracterizan la racionalidad instrumental, incluso con un barroco aparato matemático tomado usualmente de la teoría de fuerzas en la Mecánica Clásica. Encontramos en ella matices que son dignos de tener en cuenta:

1. *Estrategia*: el término que elige Koen tiene resonancias militares, pues estrategos eran los generales helenos, pero se distancia de cualquier forma de racionalidad mecánica. La estrategia implica una razón que se extiende en el tiempo y conserva una dirección que debe sobrevivir a las situaciones particulares. No es pura astucia, sino combinación de adaptación y perseverancia.
2. *Mejor (cambio)*: Se busca el mejor cambio a través de una intervención causal, es decir, la estrategia está orientada a la producción causal. El término “mejor” es un término normativo, pues implica una valoración aunque deja abierto el problema de cuáles sean los criterios por los que consideremos que un cambio sea el mejor. Pero en esta ambigüedad calculada hay una cierta voluntad de diferenciarse de la teoría de la optimización que resuelve el término “mejor” como una relación entre los resultados obtenidos y los medios empleados.
3. *Situación mal entendida*: Esta matización es fundamental para Koen. Aleja la ingeniería de la razón mecánica-instrumental. Las situaciones en las que trabaja el ingeniero parten siempre de un problema mal planteado, o quizá difícil de plantear, en donde el mismo hecho de plantearlo ya es parte de su trabajo, a diferencia, en general, de la ciencia, donde “hay que dar” con el planteamiento correcto. Pero aquí todo es nube y confusión. Y no porque, como a veces la impaciencia tiende a hacer creer, quienes están al cargo de plantear el problema tengan déficits cognitivos, sino porque la propia realidad es confusa, porque lo que entendemos por “problema” es en realidad

---

<sup>1</sup> Koen, B.V. (2003) *Discussion of the Method. Conducting the Engineer's Approach to Problem Solving*. Oxford: Oxford University Press, pg.7. Un magnífico desarrollo de esta perspectiva es el que encontramos en Aracil, J. (2010) *Fundamentos, método e historia de la ingeniería*. Madrid: Síntesis.

una categoría muy compleja, de hecho mucho más compleja que la propia solución.

4. *Recursos disponibles*: Uno supone que esta cláusula es la que primero aprende un ingeniero, y no obstante pocas expresiones son más peligrosas que “recursos disponibles”, como toda persona termina aprendiendo a lo largo que su vida. ¿Qué es un recurso?, ¿qué es estar disponible?, ¿para quién?, ¿cómo? La alusión a los recursos disponibles no es un mero recuerdo negativo de que cualquier proyecto debe acomodarse al presupuesto sino, también, y mucho más interesante, un principio afirmativo de que la creatividad del ingeniero se desarrolla en un nicho ya existente de artefactos, medios, destrezas y conocimientos que constituyen el suelo sobre el que construirá su obra.

Si hemos perdido ya la confianza en aquel concepto romántico de progreso como crecimiento ilimitado de los bienes; si sentimos ya la necesidad del reparto de los recursos en una era de globalización y hemos adquirido la conciencia que, entre otros signos, nos sugiere el cambio climático, de un principio de sostenibilidad para toda intervención futura, sería también el momento de revisar la teoría de la racionalidad tecnológica que sostiene los calificativos de *parasitismo* y *heroísmo* que adjetivan la ingeniería menguada en racionalidad instrumental. Propongo entonces que consideremos otra figura que, como el parásito, también se basa en una alegoría biológica. Me refiero al *simbionte*. Aunque la simbiosis incluiría estrictamente el parasitismo, emplearemos el término en un sentido positivo de vida conjunta de organismos en la que los metabolismos se benefician mutuamente. Una estrategia simbiótica es un modo de clarificar el contenido normativo de lo que antes considerábamos como el mejor de los cambios en situaciones mal entendidas y con los recursos disponibles. La estrategia del simbionte, a diferencia del parásito, al que no le importa que el organismo que coloniza perezca, es la de producir sólo aquellos cambios que sean mutuamente beneficiosos.

La simbiosis se ha usado ya como figura en diseño ergonómico<sup>2</sup> o diseño arquitectónico y urbanístico<sup>3</sup> y, en este sentido, alude a dimensiones muy diferentes de la interacción entre humanos y artefactos, en el primer lugar, y de artefactos y naturaleza en el segundo. Pero mi propuesta es que no separemos ambos sentidos, no por meras razones de obedecer a la metáfora sino por una razón más profunda de no separar el mundo técnico y el mundo natural. Para los humanos, simios técnicos, nuestros nichos ecológicos no distinguen, no distinguieron nunca en nuestra filogenia, entre técnica, artificio y naturaleza. Nuestra especie y las especies de homínidos que

<sup>2</sup> Anzai, Y., Ogawa, K., Mori, H. (1995) *Symbiosis of Human and Artifacts. Human and Social Aspects of Human-Computer Interaction*. Amsterdam: Elsevier .

<sup>3</sup> Downtown, P. F. (2009) *Ecopolis. Architecture and Cities for a Changing Climate*. Dordrecht: Springer.



la precedieron crearon un entorno artificial que fue el responsable de nuestra evolución como simios de las praderas, más tarde de los bosques y las cuevas, y actualmente de casi todos los nichos planetarios. El mutualismo y la simbiosis como horizonte metafísico de la tecnología de los tiempos por venir no son ya un mero deseo basado en ingenuas buenas intenciones, sino un programa factible y necesario para reordenar todos los estratos de la investigación, el desarrollo, la innovación y la educación técnica contemporánea. El desarrollo de mi propuesta se basa en dos convicciones acerca de la política cultural que debería regirnos: la primera, como acabo de insinuar, es que no tiene sentido la separación entre naturaleza y artificio, o naturaleza y cultura. Desde el punto de vista evolutivo y de la ecología humana somos, fuimos, una especie *cyborg*, una especie configurada por el artificio y por la evolución. Estamos ya en un punto de no retorno en el que todo el planeta debe configurarse como un parque artificial habitado por cyborgs, por organismos que sobreviven en parte debido a nuestra ayuda mutua. La segunda de mis presuposiciones es que ya no tiene sentido, y de hecho nunca lo tuvo, la separación entre la cultura humanística y la cultura tecno-científica. Fue esta separación una comprensible consecuencia de que la nueva ciencia exigía un lenguaje, el de las matemáticas, extraño a las lenguas naturales. Pero no es la diferencia de lenguas una causa suficiente para establecer una frontera cultural. Si no el bilingüismo, al menos la extensión de procedimientos de traducción debería llevarnos a una progresiva convergencia no ya en la pura comprensión sino también en los grandes proyectos estratégicos culturales. Pero es que, además, esta convergencia se convierte en una necesidad perentoria tanto de las políticas de desarrollo tecnológico como de las políticas culturales contemporáneas.

### **La educación de un ingeniero**

A lo largo del siglo XVIII se fue instituyendo el “espacio de la técnica”<sup>4</sup> en territorios donde anteriormente habitaban sin competencia las prácticas artesanales con alguna ayuda de los nuevos instrumentos del dibujo en perspectiva y el cálculo algebraico. Eran las vísperas de la revolución industrial y el mundo estaba comenzando a llenarse de artefactos cada vez más complejos en sus materiales, formas, funciones y usos. Ningún ejemplo más claro que la arquitectura naval en un mundo en el que el control del mar se había convertido en la señal diferencial de la potencia de un imperio. Si en los tiempos anteriores habían reinado los diseñadores de fortalezas, ahora habrían de ser estas nuevas máquinas de viajar, transportar, pescar y, sobre todo, combatir las que habrían de crear el nuevo nicho para la profesión de ingeniero. Diseñar un buque ya no quedaría en manos del maestro carpintero naval, sino en las de una

---

<sup>4</sup> Vérin, Hélène, (1993) *La gloire des ingénieurs. L'intelligence technique du XVIe au XVIII siècle*. París: Albin Michel, cap. VII

nueva profesión extraña entre el dibujante y el matemático. Ingeniero naval, de minas, caminos, puertos y canales, industrial, electrónico, aeronáutico, informático, químico, . . . , son adjetivos que en dos siglos calificarían progresivamente esta nueva profesión, diferente a la del *ingeniator*, el diseñador y constructor de ingenios, y base para una nueva figura que habría de ir calificando la historia de la ingeniería.

La educación de los ingenieros comenzó muy pronto a adaptarse a las demandas de la nueva revolución industrial. De hecho, lo hizo antes que las universidades. A finales del siglo XVIII se habían desarrollado dos estilos de educación en ingeniería, que habrían de dar lugar a dos tradiciones en la formación técnica, durante la revolución científica. La primera es la que dirigió desde el comienzo la educación desde el aparato del estado creando escuelas cuya función sería la de crear técnicos pertenecientes a dicho aparato. Es la tradición francesa, que se extendió a Alemania y España. La segunda trayectoria, extensa en el mundo anglosajón, confió la educación de los ingenieros al aprendizaje en la práctica de los talleres, minas y obras civiles, y ocasionalmente a escuelas privadas dedicadas a tal fin<sup>5</sup>.

Esta bifurcación de estilos se corresponde con una doble cara del ingeniero en la génesis del mundo moderno. De un lado, fue en un cierto aspecto ejecutor del ordenamiento social desde el estado, organizando las grandes obras públicas, las infraestructuras y el sistema de estándares y controles que permitieron el marco de desarrollo de la revolución científica. Las escuelas homogeneizaron la educación del mismo modo que los diversos dispositivos estatales estaban homogeneizando la cultura material moderna en la guerra y la paz, en la cultura y la industria, en la sanidad y en el orden social. Es el ingeniero homogeneizador, organizador, creador del sistema de bienes públicos que caracteriza el estado moderno. En el otro lado, el ingeniero ejemplifica junto con el empresario y el revolucionario, los nuevos agentes transformadores de la historia. Si el empresario y el financiero transforman el entramado de producción y reproducción económicas, si el revolucionario transforma el orden social, el ingeniero diseña un nuevo orden material que denominamos modernidad: un mundo de artefactos tecnológicos que transforman la vida cotidiana de manera que ninguno de los avatares de la historia pasada pudieron hacerlo. En este segundo papel, el ingeniero es fundamentalmente innovador, creador de articulaciones que reconfiguran las prácticas sociales al transformar la base material que las hace posibles.

En su doble papel de agente de orden y agente de transformación, el ingeniero pertenece a la mitología del mundo moderno con esos tintes prometéticos que le han

---

<sup>5</sup> Lundgreen, Peter (1990) "Engineering Education in Europe and the USA 1750-1930. The Rise and Dominance of School Culture and the Engineering Profession" *Annals of Science* 47: 33-75

hecho ganar tantos halagos y denuestos. Ciertamente, el ingeniero no ocupa todo el espacio de la modernización. Al contrario, en la historia oficial de la modernidad son los filósofos y los científicos, los científicos y filósofos, los que cuentan como representantes notorios de tal proceso histórico. En realidad el ingeniero aparece, si ocurre, sólo como un dios menor en el registro de nuevos héroes o villanos. Y sin embargo, la historia de la ingeniería como profesión no puede ya separarse de la constitución del espacio de la técnica, o espacio de las técnicas, como ámbito en el que se constituye la cultura material de la modernidad. El espacio de las técnicas hace posibles otras transformaciones como la ciencia, la economía, la guerra y, en general, todo el tejido de globalización que conforma el mundo presente. Esta esfera de lo tecnológico fue posible en buena medida gracias a la aparición de la profesión de ingeniero como institución social. A diferencia de las comunidades científicas, que han sido teorizadas y narradas exhaustivamente en la filosofía y la historia de la ciencia contemporáneas, se ha tratado poco el importante papel que han ejercido las instituciones, colegios y asociaciones de ingenieros en la constitución del espacio de las técnicas y, más allá, en la configuración de las sociedades y estados contemporáneos. Este complejo de asociaciones, instituciones, escuelas y redes sociales ha tenido mucha menos visibilidad en el análisis de la cultura contemporánea que las comunidades y disciplinas científicas; y sin embargo han configurado de forma determinante la fábrica de la cultura contemporánea. La más importante de las aportaciones ha sido el estrechamiento de los lazos entre la cultura científica y la técnica. Aunque la tradición francesa de las escuelas, desde sus orígenes, se alimentó de la mecánica racional y la geometría más avanzada del momento, la unión del espíritu científico de investigación y la tradición innovadora de la ingeniería habrían de tardar aún un tiempo en acercarse. En buena medida fue un resultado de la presión de las asociaciones ingenieriles por establecer filtros corporativos basados en un aprendizaje reglado, en una excelencia en el dominio del lenguaje matemático y en un cierto espíritu de distinción académica. A diferencia de la ciencia, no se constituyeron comunidades disciplinares, sino comunidades corporativas que exigían una estricta formación en el instrumental lingüístico de la matemática y una gran plasticidad en la capacidad de adaptación a las necesidades cambiantes del entorno técnico.

Si atendemos a los patrones de convergencia contemporáneos, se observará que hay una cierta coincidencia en las líneas que se promueven para la educación de los ingenieros:

- Insistencia en la necesidad del aprendizaje por descubrimiento en todos los niveles de la educación: no separar la teoría del aprendizaje de la solución de problemas típicamente ingenieriles
- Insistencia en la cercanía con la educación científica y matemática desde los primeros niveles de educación

Estos dos objetivos son difícilmente discutibles pues pertenecen a la gran tradición de la educación del ingeniero moderno. Progresivamente se ha ido tomando conciencia de las nuevas demandas, que se resumirían en los siguientes consejos didácticos<sup>6</sup>:

- Convergencia de las disciplinas y aprendizaje de trabajos en la frontera de aquéllas, o directamente promoción de estudios transdisciplinarios como, por ejemplo, informática dedicada a la biotecnología (o, a la inversa, biotecnología dedicada a la informática)
- Educación en la economía, en particular en la economía de la empresa y en las grandes líneas de la economía.
- Conciencia de la cercanía de la ingeniería y la sociedad, a través del fomento de la comunicación.

Todo esto habla de la progresiva conciencia de que la ingeniería ya está integrada en complejos sistemas que llamamos sociedad del conocimiento y sociedad globalizada, y que se caracterizan, como ha sido numerosas veces explicado, por unas nuevas formas de producción del conocimiento. Casi nada de esto puede resultar extraño: todos los informes que circulan en los organismos competentes en la educación científica hablan de estas crecientes necesidades de la educación ingenieril.

La acomodación de la ingeniería a un marco educativo pautado ha tenido muchas ventajas en la creación de un sistema ordenado de creatividad social, pero, como tantas veces sucede en otros ámbitos en los que se ha desarrollado una trayectoria cultural autónoma (arte, ciencia, burocracia, ejércitos), se han producido amenazantes desajustes. El primero y más importante es la dificultad de acomodar a los expertos y técnicos en las sociedades democráticas. El segundo está causado por la miopía que tantas veces aqueja a la creatividad tecnológica.

### ***Tecnoestructura y tecnodemocracia***

A nadie podrá sorprender la aserción de que nuestras sociedades han devenido sociedades dependientes de la tecnología, pues pertenece ya a nuestra experiencia contemporánea como una forma novedosa del destino o de la providencia: todo lo bueno y todo lo malo cabe esperarlo de la tecnología. No de la técnica, pues toda sociedad humana lo es, sino de esa particular forma de técnica que es la tecnología. Hemos aprendido de los filósofos políticos que el estado moderno se constituye al tiempo que el derecho y el sistema impersonal de normas y funciones sociales desarrolladas por aparatos creados *ad hoc*, pero no se ha reparado con la misma

---

<sup>6</sup> National Academy of Engineering (2005) Educating the Engineer of 2020. Adapting Engineering Education to the New Century. Washington: The National Academy Press. <http://www.nap.edu/catalog/11338.html>.

atención en la dependencia del aparato estatal respecto de las tecnologías que hacen posible toda esta malla de dispositivos. El aparato moderno de la guerra fue el primer origen de los nuevos estados, incluso en el Antiguo Régimen, mas el siglo XIX extendió los procedimientos de normalización, estandarización y tecnologización a todos los ámbitos de las formaciones sociales. Demografía, seguridad, educación, sanidad, ..., todo aquello de lo que los estados comenzaron a ocuparse como su tarea propia en la modernidad fueron territorios que se abrían a medida que la moderna tecnología los hacía posibles. Desde Saint-Simon a Balzac, desde Walter Benjamin a Foucault, los observadores más perceptivos de la cultura contemporánea dieron cuenta de la progresiva irrupción de la tecnología en los ámbitos de la vida social y de la vida cotidiana. Max Weber fue el teórico que explicó que los nuevos estados estaban sometidos a un proceso de lo que él denominaba "racionalización" de las actividades propias, que incluía la formación de una estructura burocrática encargada de estas tareas, y que él consideraba como un nuevo agente o sujeto histórico que terminaba por generar intereses propios, autónomos respecto a la sociedad que la había originado. Sin embargo, no se ha estudiado suficientemente la dependencia de éste respecto de nuevas necesidades técnicas. Cada una de las funciones demandaba una creciente red de nuevas tecnologías de una forma no menos exigente que la economía y la industria. Seguridad, sanidad, educación, gobernación, justicia, se convirtieron en funciones dependientes de tecnología en grados progresivamente crecientes en intensidad y extensión. Pero esta demanda produjo también la dependencia social de los técnicos. Los expertos se convirtieron en una capa social con una participación esencial en todas las funciones sociales. Ésta es la paradoja de nuestras sociedades. No es posible ya una democracia avanzada sin el concurso de la tecnología, pero la tecnología exige una relación asimétrica entre ciudadanos y expertos poseedores de un saber propio sin el cual no es posible el funcionamiento social. Y el problema, como sabemos, es que el saber de estos técnicos es un poder que escapa a la tradicional división de poderes de los estados de derecho. Durante un tiempo los ingenieros y expertos gozaron de los beneficios que traía esta asimetría en forma de prestigio y distinción social, estatus económico y capacidad de decisión y, en general, en la forma de un lugar privilegiado en la estructura social. Más tarde este lugar se ha ido convirtiendo en un centro de controversias y tensiones que, ésta es la cuestión, no ha sido suficientemente incorporado a la educación del ingeniero futuro.

Muchas de las nuevas recomendaciones de las autoridades educativas plantean como solución la necesidad de comunicación, como si el problema fuese un problema de una sociedad que aún no es capaz de entender bien el lugar del experto, como si existiese una brecha insalvable entre el saber del experto y la ignorancia de la sociedad insensible a las razones que da el conocimiento superior. Desgraciadamente la situación es mucho más grave: la brecha tiene dos direcciones. Posiblemente el

ciudadano medio ignore las razones del experto, pero no ignora que sus decisiones le afectarán en un grado y con unas consecuencias las que más que posible, muy probablemente, el experto ignora o es insensible a ellas. Las catástrofes de origen tecnológico están en el trasfondo de una creciente desconfianza de la función técnica; pero quizá sea mucho más relevante la incapacidad de los expertos para establecer las responsabilidades implicadas en el cambio social al que dan origen muchos desarrollos tecnológicos. La innovación siempre es local pero las consecuencias son globales. Y no hay expertos en el todo. La sociedad se angustia por la trama de relaciones que establecen entre sí los desarrollos tecnológicos.

### **Creación y miopía**

El segundo de los déficits de la educación tecnológica es la incapacidad que tiene para paliar la miopía que afecta a todo creador, diseñador o simple experto en la solución de problemas tecnológicos. La miopía afecta a la visión de lejos, como si el experto hubiese sido educado para resolver un problema en cuyo planteamiento y solución no entrasen más parámetros que los que el profesor, el empresario o la parte contratante le suministran.

La creación técnica, como la creación artística y tantas formas de creación que contribuyen a la conformación de la cultura material, consiste en hacer cosas para que otros hagan cosas. El artesano hace relojes para que otros midan el tiempo y ordenen sus planes en intervalos coordinados. Hacer una máquina para que otros coordinen sus acciones: en esto consiste crear relojes. Hay una versión refinada de esta idea que es la *Teoría dual de los artefactos*, creada por la escuela holandesa de Filosofía de la Tecnología<sup>7</sup>. En esta concepción, un artefacto es una entidad que vive entre dos mundos: el de los componentes materiales y el de las intenciones. Un artefacto es un objeto que ha sido construido para realizar una función, y el usuario comprende que mediante este artefacto puede realizar un plan que se llevará a cabo mediante el uso adecuado del artefacto. Esta concepción es una versión muy refinada de la intuición cotidiana de quien ejerce o aprende la ingeniería. No hay nada equivocado en ella si la observamos desde una perspectiva distante donde los perfiles se difuminan en un grano grueso. Pero resulta inadecuada y peligrosa cuando nos acercamos y observamos los detalles de la práctica ingenieril y, sobre todo, de la existencia en un mundo en el que la cultura material está configurada por la tecnología.

“Hacer cosas para que otros hagan cosas”: ésta es otra forma de explicar la definición de ingeniería que proponía Koen como “estrategia para producir el mejor cambio en

<sup>7</sup> Houkes, W. y Vermaas, P. (2004), “Actions versus functions: a plea for an alternative metaphysics of artefacts”, *The Monist*, 87: 52-71.

una situación mal entendida con los recursos disponibles”. Pues no sirve cualquier tipo de cambio. Se trata de un cambio que crea posibilidades de acción. Esta idea estaba implícita en el adjetivo “mejor” aplicado a los cambios posibles: no basta producir un cambio en una situación, sosteníamos; es necesario que el cambio tenga una orientación, a saber, la de resolver un problema. El ingeniero que se enfrenta a esta tarea debe tener en la cabeza dos mundos muy diferentes: el del artefacto que va a diseñar y el de las acciones que va a causar el uso del artefacto. El cambio de situación al que se refiere la definición es así una producción híbrida entre lo real y lo posible. Observemos que al contemplar la tecnología de este modo, nos situamos en un marco muy sensible al contexto, pues las implicaciones que tiene el cómo determinemos el alcance de lo real y lo posible. El creador diseña un objeto que produce un potencial conjunto de acciones. Se produce así una situación paradójica: el ingeniero creador debe tener en la cabeza un tipo de acciones para poder imaginar un modelo potencial del artefacto que está diseñando. Pero si ese modelo potencial no es capaz de insertarse, encarnarse, en un contexto adecuado de recepción, el artefacto será inútil. La transgresión de contextos ha sido contemplada por muchos literatos a lo largo de la historia. Pienso, por ejemplo, en la sátira de Mark Twain, *Un yanqui en la corte del rey Arturo*, en donde el choque de culturas entraña un choque de culturas materiales y de extrañamiento de los objetos. ¿Qué significaría, por ejemplo, diseñar un reloj para una sociedad que no contempla la posibilidad de coordinación fina de intervalos de tiempo como podría ser una sociedad de cazadores y recolectores? Muy probablemente una transformación inútil de la situación. Y, por otro lado, puestos a considerar el ejemplo del reloj<sup>8</sup>, pensemos en lo que significó la introducción del reloj en las sociedades medievales. Jacques Le Goff ha estudiado una de las derivaciones más interesantes de la transformación del tiempo en estas sociedades como resultado de la introducción del reloj. Me refiero aquí al extraño hecho relatado por Le Goff<sup>9</sup> de las huelgas que recorrieron la Europa tardomedieval del siglo XIV entre los miembros de los gremios de los nuevos burgos industriales. Le Goff explica estas huelgas por la reivindicación de que el reloj del ayuntamiento regulase los horarios y sobre todo los salarios de los menestrales. ¿Por qué? La explicación es clara: los nuevos obreros preferían ser recompensados por su tiempo de trabajo que por los productos del trabajo. El reloj introducía de esta manera un cambio no prefigurado en su diseño: en vez de limitarse a medir el tiempo comenzaba también a medir el trabajo humano. Estaban formándose los cimientos del capitalismo. ¿Tendría que haber pensado el viejo monje que probablemente diseñó el mecanismo de escape por volante, origen al reloj, que tal artefacto daría origen a un nuevo modo de producción? Seguramente es

<sup>8</sup> El reloj como modelo de ingeniería tiene una larga tradición desde el clásico estudio del gran teórico de la técnica del pasado siglo: Munford, L. (1934) *Técnica y civilización*. Madrid: Alianza (2006)

<sup>9</sup> Le Goff, J. (1987) *Tiempo, trabajo y cultura en el occidente medieval*. Madrid: Taurus

pedir demasiado. Nuestro diseñador estaría posiblemente preocupado solamente por cómo hacer que un proceso continuo y quizá heterogéneo se convirtiese en un proceso homogéneo y cíclico.

La creación técnica por su naturaleza parece ser insensible a una determinación amplia de la situación que ha de transformar. Probablemente éste es el origen de la transitada definición de la racionalidad técnica como racionalidad instrumental. No se trata de eso, sino de que la situación de diseño debe ser definida siempre en términos reducidos para que pueda ser manejable, y eso produce necesariamente lo que he calificado como *miopía*. La formación del ingeniero como especialista parecería así generar este déficit en la perspectiva con la que se enfrenta a su trabajo.

Parece pues que la deriva de las sociedades contemporáneas hacia la globalización y el multiculturalismo plantea a los planificadores de la educación de los ingenieros un desafío en el que parecen estar condenados trágicamente a ser vencidos: o se abandona el principio de la especialización disciplinaria que parece implicar la insensibilidad a las demandas sociales y a una consideración amplia de los contextos de aplicación de la técnica, rompiendo con ello la gran tradición a la que pertenecen las escuelas de ingeniería desde la Ilustración, o se mantiene una tradición pedagógica empeñada en el detalle pero progresivamente desbordada por las nuevas necesidades que crea la creciente convergencia de tecnologías que conlleva nuestra situación contemporánea.

¿Es acaso imposible de atravesar este peligroso estrecho en el que acechan un peligroso escollo Caribdis de incompetencia técnica y un no menos amenazante Escila de miopía creadora?

Creo que esta amenazante travesía puede ser resuelta, pero me permitiré antes de proponer mi propia perspectiva tomar un sendero secundario y caminar por un momento por los márgenes para examinar lo que no me parece que sea una solución prometedor.

### ***La inutilidad de las soluciones externas***

A lo largo de las últimas décadas se han desarrollado muchos movimientos críticos con la tecnología, como por ejemplo los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad, y muchas voces que demandan una mayor atención de los ingenieros y expertos a valores que aparentemente están más allá de los aspectos puramente técnicos, como por ejemplo, los valores ecológicos, los sociales e incluso los estrictamente morales. Traducidos estos reclamos de atención a propuestas para la formación de futuros ingenieros, la solución sería la de incrementar la carga formativa de los alumnos



añadiendo algo así como ciertas asignaturas de humanidades que introdujeran a los estudiantes en estas nuevas demandas, y que les suministraran algo así como un nuevo código deontológico profesional para los tiempos que vivimos, en la línea de alguna forma de juramento hipocrático de la profesión de ingeniero.

Son muchos los países que tienen la tendencia a descargar las responsabilidades de solución de problemas y dilemas sociales en nuevas cargas educativas, como si las escuelas pudiesen resolver los problemas que la sociedad es incapaz de resolver. Al menos en mi país, cada vez que se discute alguna de nuestras lacras contemporáneas (por ejemplo el consumo de drogas, la violencia de género, o incluso el mal comportamiento de los conductores) se plantea siempre como solución una suerte de nueva asignatura que se proponga la “educación en valores” referida a tal problema en el currículum escolar, como si pudiese postergarse la solución del problema contemporáneo a la supuesta formación de mejores ciudadanos en el futuro. Algo parecido sería la solución presente para los problemas de los déficits de formación en ingeniería. No creo que éste sea el camino por varias, creo, convincentes razones de orden práctico y teórico.

Para justificar este apunte doy dos razones de orden práctico. La primera, que, como todos sabemos, los currículos actuales de los estudiantes, en cualquiera de los niveles de enseñanza, ya están suficientemente sobrecargados como para añadir nuevas materias. La segunda, más importante desde mi punto de vista, es que el lenguaje, el tono y estilo de una posible asignatura de este tipo sería percibida inmediatamente como algo externo, ajeno y seguramente incomprensible para los alumnos y alumnas de ingeniería familiarizados con unas formas académicas muy lejanas del estilo dubitativo, deliberativo, cargado de conceptos y expresiones literariamente complicadas de las humanidades. Largos años de experiencia nos llevan a la conclusión de la inutilidad de estas direcciones. Pero es que, además, hay un problema teórico con estas soluciones que, me atrevería a calificar como soluciones desde fuera, soluciones externas a la propia tradición educativa. Es cierto que un ingeniero, como cualquier otro ciudadano, necesita conocer más acerca de las nuevas formaciones sociales y acerca de la complicación de las soluciones técnicas con consecuencias no queridas dada la interconexión de los sistemas naturales, sociales y tecnológicos. Pero, lo mismo que ocurre con cualquier ciudadano, no se trata de superar la ilimitada división social del trabajo en la civilización contemporánea convirtiéndonos todos en supersabios en el todo y la complejidad. Hay que sobrevivir a esta división social transformando la manera en que ordenamos nuestras sociedades, no intentando superar lo insuperable, a saber, la especialización de los roles cognitivos, prácticos y sociales<sup>10</sup>. En nuestro caso,

---

<sup>10</sup> Broncano, F. (2006) Entre ingenieros y ciudadanos. Barcelona: Montesinos.

me parece, la solución debe perseguir la dirección contraria: debe ser una solución endógena, que cave y profundice en las vetas de la historia de la ingeniería con una nueva perspectiva sobre el lugar del ingeniero en las sociedades contemporáneas. Me atrevo por ello a proponer una senda que supone una consideración crítica de nuestras pautas culturales y académicas implicadas en nuestros sistemas formativos: unas pautas que confunden la especialización con el aislamiento y la separación de las disciplinas y la formación técnica con la formación insensible a factores que no sean los estrictamente definidos como técnicos por un modelo disciplinario en buena parte creado por asociaciones profesionales empeñadas en su propio aislamiento y predominio social.

### ***El ingeniero como humanista***

Mi propuesta es que pensemos en las consecuencias que tiene considerar al ingeniero como una suerte de humanista, de intérprete autorizado de las necesidades y posibilidades de la cultura material humana. Antes de presentar este camino permítaseme una nueva (aunque corta) digresión por los márgenes del argumento para examinar una analogía que históricamente funcionó en la formación de los ingenieros. Me refiero al ingeniero como científico. A nadie le extrañaría una aseveración de “el ingeniero como científico”, así como a casi todo el mundo le puede sorprender que consideremos al ingeniero como una clase particular de humanista. Pero que el ingeniero sea algo así como un científico resulta menos obvio de lo que parece, por más que pertenezca a una inveterada tradición académica. En los primeros tiempos de la constitución de las escuelas de ingeniería, en sus versiones francesa y alemana a las que nos hemos referido anteriormente, se estableció la formación científica de los ingenieros, particularmente en la llamada Mecánica Racional, como uno de los componentes esenciales de su currículo. Se trataba de una formación muy teórica en matemáticas abstractas que se suponían esenciales para la formación de los ingenieros. Con el tiempo, esta tradición se fue asentando, no tanto por razones didácticas, cuanto por razones de prestigio y distinción social de los ingenieros como profesión vinculada al aparato de Estado y con intereses muy particulares de que no proliferase demasiado el número de los graduados. La formación científica se convirtió así en una suerte de seleccionador de talentos, con la específica misión de eliminar a un número grande de aspirantes. Tenía poco que ver con alguna profunda meditación sobre la aportación de la ciencia teórica a la formación ingenieril. Y sin embargo, no había nada errado en la consideración del ingeniero como científico, sólo que por razones contrarias a las que se propusieron las nuevas asociaciones profesionales con intereses corporativos y corporativistas. Porque, curiosamente, la nueva ciencia experimental que se estaba constituyendo en el siglo XIX fue una creación mucho más de ingenieros y médicos que de científicos teóricos al estilo de los mecánicos racionales de la Ilustración. La química, la óptica, la electrodinámica,

la termodinámica, y tantas otras ramas de la gran ciencia clásica se desarrollaron en los nuevos talleres experimentales contruidos por mentalidades ingenieriles en estrecha cooperación con las necesidades de la nueva industria. Por eso no puede sonar desentonada la expresión “el ingeniero como científico”, pero por razones contrarias a la tradición: a saber, porque en buena medida la ciencia moderna es resultado de la ingeniería del conocimiento experimental. Porque la nueva exploración del universo sólo fue posible mediante el diseño de todo un nicho ecológico de artefactos creados para extraer la información de minas profundas de la naturaleza que sólo podían ser explotadas ingenierilmente. Cuando tantos teóricos hablan ahora de tecnociencia, como si fuese un estado superior contemporáneo de la ciencia, olvidan que esa fue precisamente la trayectoria principal.

La expresión “el ingeniero como científico” contiene, pues, algo correcto y algo equivocado: se equivoca en el concepto de ciencia, acierta en el concepto de ingeniería. Pues bien, algo análogo es lo que proponemos al considerar al ingeniero como humanista.

¿Qué es un humanista? En su origen, el humanismo renacentista al que pertenecieron Erasmo de Rotterdam, Luis Vives, Marsilio Ficino o Michel de Montaigne fue un movimiento contra el academicismo seco y abstruso de la escolástica que se había impuesto en las universidades. Los humanistas pertenecían a la nueva cultura del libro y de la imprenta contra la cultura del discurso repetido de la cátedra. El humanista era esencialmente un intérprete de los textos. El humanista es un intérprete. Pero ¿qué es la interpretación? Como el acto de lectura, como el acto de interpretación musical, tiene dos momentos. El primero es la comprensión de los signos, el desciframiento de la información. El segundo consiste en la encarnación, en la incorporación de lo abstracto, en la particular situación del lector o intérprete. Cuando leemos una novela hacemos que los personajes y las situaciones se encarnen en nuestra biografía individual. Por eso leer es interpretar; por eso leer es al tiempo tan fácil y tan difícil: porque entender implica incorporar a nuestro mundo particular algo que nos proyecta en situaciones muy lejanas. Leer es hacer familiar lo diferente.

¿Qué es lo que interpretan los humanistas? En la vieja tradición de la *Bildung* alemana, los hermeneutas eran los encargados de enseñar e interpretar lo que se consideraba que eran los cúlmenes normativos de la cultura occidental: la Biblia y la cultura clásica greco-romana. Se consideraba que esta doble tradición judeo-cristiana contenía las claves esenciales de lo humano. Como si hubiese existido una Edad de Oro de la cultura a la que todo ciudadano formado debe referirse para encontrar las direcciones adecuadas en el camino de su vida. No es extraño pues que el dominio del latín y del griego todavía se considerase necesario incluso para

la formación de los ingenieros en el siglo XIX. No debe sorprender tampoco que el advenimiento de la civilización científico-tecnológica de la era industrial dejase al humanista en una situación de extrañamiento e irritación permanente como si hubiese sido expulsado del paraíso que esa misma sociedad le había prometido. Pero este concepto del humanista se debe a un malentendido histórico sobre las bases esenciales de nuestra cultura. No existen tales edades de oro. La historia nos ha configurado en una secuencia de transformaciones culturales que gozan de un igual derecho a la importancia interpretativa. Pues la cultura científico tecnológica no es menos demandante de interpretación de lo que es la cultura clásica de las humanidades. Ambas forman parte de lo que somos y seremos. ¿Qué es pues lo que interpretan los humanistas? No otra cosa que las necesidades y posibilidades humanas. Hacia el futuro interpretan lo que podría ser contra el trasfondo de lo que es. Hacia el pasado, interpretan lo que podría haber sido contra el trasfondo de lo que fue. En ambos casos proyectan lo necesario en lo posible. Y este ámbito u horizonte de posibilidades nada sabe de las distinciones entre ciencia y arte o entre ciencia y técnica o técnica y humanidades. Nada humano le es ajeno.

Si nos resulta aceptable esta aproximación, podemos volver ahora los ojos hacia el ingeniero como intérprete, tal como considera mi propuesta: ¿Qué es lo que interpreta el ingeniero? Desde mi punto de vista, el ingeniero es uno de los intérpretes, un intérprete privilegiado de hecho, de las necesidades y posibilidades de la *cultura material*.

“Cultura material” es un término que nació en los contextos de la antropología para referirse a los nichos y entornos técnicos de culturas del pasado humano, pero que, progresivamente, se ha ido convirtiendo en una disciplina de la antropología, la que estudia los nichos y entornos de artefactos en los que discurre la vida cotidiana contemporánea. Un entorno de artefactos es una red de objetos constituida por funciones que se relacionan unas con otras en un tejido de interdependencias que constituyen el marco que hace posible nuestra vida contemporánea. Los nichos de la cultura material están hechos de flujos de materia, energía e información que, como cualquier otro nicho ecológico, son explotados por los organismos que los habitan con mejor o peor eficiencia. La cultura material determina un marco de necesidades y un horizonte de posibilidades. Ser capaz de leer e interpretar este espacio es algo que exige conocimiento pero también imaginación y capacidad de proyectarse en lo que aún no existe si no es como posibilidad.

### ***La educación del ingeniero como educación en posibilidades***

Esta propuesta implica extender la idea de interpretación más allá del contexto lingüístico y textual en el que se han instalado las viejas humanidades, basadas en un

predominio de lo intelectual sobre lo material y de la mente sobre lo corporal. Pero la cultura material está formada por objetos, por artefactos que establecen entre sí y con los humanos relaciones actuales y potenciales que deben ser desentrañadas para crear de tal cultura un espacio y un horizonte de posibilidades. Un artefacto es un relato fosilizado en una estructura material con forma y funciones definidas, pero que, sin embargo, es el producto de derivas culturales en las que las transformaciones de la materia, forma y función se entrecruzan con transformaciones en el uso y la interpretación de dicho objeto. Es también una ventana potencial hacia el futuro. Los artefactos crean disponibilidades de función y uso. “Una silla es una invitación a sentarse”, explicaba el filósofo George Herbert Mead. Todo artefacto es una invitación, una obra abierta en la que está escrito un pasado de transformaciones en las trayectorias que ha seguido en la cultura material y en la que el futuro está aún por desenvolver. Nuestra relación cotidiana con los objetos se basa precisamente en esta apertura. Sin embargo, el ingeniero mantiene una relación más profunda con los artefactos, porque sus capacidades le permiten crear nuevos artefactos y establecer por ello nuevos usos. Su preparación técnica le permite establecer una nueva relación entre las cosas: “esto funcionará como....” Al realizar esta operación, un artefacto actual o potencial crea una nueva trayectoria en la cultura material. El ingeniero, en este sentido, escribe la historia de los objetos. Pensemos en James Watt diseñando el primer sistema de control con un volante móvil que abre y cierra el flujo de vapor. El principio físico que aplica, la conservación del momento de giro era ya bien conocido, pero su genio estuvo en pensar en un rombo articulado con dos extremos de gran masa: “esto puede funcionar como un sistema de control del flujo de vapor, y por tanto puede funcionar como un sistema de control de las revoluciones de la máquina”. En realidad no había creado nada que ningún molinero desconociese. Su genio, al inventar el primer automatismo de la historia, es el haber establecido una deriva funcional. La razón por la que Watt es uno de los grandes ingenieros de la historia es que fue capaz de ver la rica red de relaciones potenciales entre los artefactos con un alcance mayor que sus contemporáneos fabricantes de ingenios de vapor.

Algunos de los problemas que presenta la educación en la creatividad de los futuros ingenieros no están en ninguna barrera institucional, o en déficits en su formación teórica, sino en la metafísica implícita en nuestros modos de pensar la cultura material, que nos hace contemplarla desde nuestra tradición intelectualista como meros objetos instrumentales, y no como redes de relaciones que ofrecen nuevas posibilidades de reestructuración. Al establecer nuevas relaciones funcionales, de uso, de acoplamiento de formas, etc., el ingeniero no es diferente del artista, que es a su modo también un reestructurador de objetos. Tendemos a pensar en los artistas como personas más cercanas al humanismo, porque pensamos en ellos como creadores de sentido, sin reparar en que las recombinaciones de objetos y

relaciones que establece el creador de cultura material son también y sobre todo instauraciones de sentido.

Un objeto es algo que transforma las relaciones con otros objetos pero sobre todo transforma al futuro usuario. Un antropólogo que meditaba recientemente sobre esta relación de sentido que se establece en las redes de la cultura material se quejaba de la vieja tradición protestante de aborrecer a los instrumentos<sup>11</sup>. Recordaba a Thoreau, quien afirmaba que ninguna empresa humana que exija nuevos trajes merece la pena, solamente aquellas que exigen nuevas personas que los vistan la merecen. Pero se equivoca Thoreau, porque todos sabemos que la vestimenta no sólo es un instrumento, ni siquiera una expresión de identidad, sino un modo de establecer transformaciones en las personas, de crear diferencias, roles, trayectorias. Lo que se aplica al vestido se aplica también a los componentes de un motor de reacción. El velo del instrumentalismo que ha regido la metafísica moderna nos impide observar nuestros entornos materiales como nichos ricos en relaciones de significado que deben ser “leídas”, interpretadas y reescritas. Esa es la principal de las capacidades del ingeniero.

No debemos pues buscar fuera de la tradición ingenieril la solución a lo que antes he denominado déficits creados por los nuevos escenarios. Al contrario, deberíamos repensar cuál ha sido realmente el papel del ingeniero en la transformación de la cultura material para encontrar nuevos enfoques a la educación. No necesitará probablemente nuevos códigos, ni más formaciones técnicas que las estrictamente necesarias para su tarea, pero lo que sí necesitará es cambiar su mirada hacia las cosas. Dejar de verlas como instrumentos y comenzar a verlas como significados, como complejos de relaciones que transformarán en el futuro las posibilidades humanas. Ejercer esa forma nueva de humanismo que significó la conciencia técnica. Es en su autoconciencia como agente creador de funciones y tramas en la cultura material donde podemos encontrar la fuente de las nuevas capacidades que le exige el mundo contemporáneo.

---

<sup>11</sup> Keane, W. (2005) “Signs Are Not the Garb of Meaning. On the Social Analysis of Material Things”, en Miller, D. (ed.) (2005) *Materiality*. Durham: Duke University Press



## Conferencia

### Acciones y cambios en las facultades de ingeniería

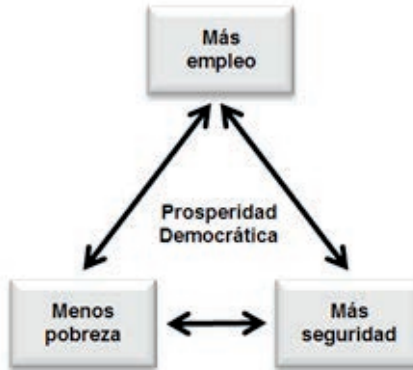
Javier Botero Álvarez

Me parece que el tema propuesto por ACOFI para esta Reunión Nacional (“Acciones y cambios en las facultades de ingeniería”) no podría ser más acertado en este momento. Como voy a tratar de exponer en mi presentación, los cuatro ejes temáticos se ajustan perfectamente a las necesidades y retos actuales del país.

Voy a desarrollar la presentación en tres partes. En primer lugar, cómo se ven, desde el gobierno nacional y dentro del plan nacional de desarrollo, la innovación y la ingeniería, como asuntos fundamentales para varios temas del plan. En segundo lugar, cuáles son los principales retos. Finalmente, algunas reflexiones respecto de la reforma de la educación superior que está en discusión en estos momentos.

#### ***Los ejes principales del plan nacional de desarrollo***

El presidente del gobierno ha insistido mucho en focalizar el plan, apuntando a tres grandes retos: mayor empleo, menos pobreza y más seguridad, en lo que él ha llamado la prosperidad democrática.



Gráfica 1. Propuesta de prosperidad democrática del gobierno de Colombia

¿Cómo se consigue? Mediante tres grandes estrategias. En primer lugar, crecimiento y competitividad; en segundo, la igualdad de oportunidades; y en tercer lugar, la consolidación de la paz. Todo ello va enmarcado en cuatro líneas centrales: el buen gobierno en todos los niveles; la relevancia internacional, la sostenibilidad ambiental y la innovación, en las que la ingeniería y los ingenieros juegan un papel fundamental.





Gráfica 2. Estrategias para la prosperidad democrática

El plan sectorial de educación, se enmarca en dos ejes centrales: el crecimiento y la competitividad. Hay que formar colombianos para que aporten al crecimiento y a la competitividad del país; pero también, y de manera muy importante, la educación tiene una importancia preponderante en la igualdad de oportunidades, en la equidad.

La meta o misión que nos hemos propuesto en el tema de la educación, es lograr una educación de calidad. Ese es el eje central: conseguir una educación de calidad. En varias reuniones con diferentes actores, docentes, secretarios de educación, rectores universitarios, con los órganos asesores del gobierno en el tema de educación, llegamos a una definición de calidad. Entendemos por educación de calidad aquella que forma mejores seres humanos. Este es el punto principal: formar ciudadanos con valores éticos. Creo que muchos de ustedes que, además de ejercer la docencia participan en el ejercicio profesional, saben, son conscientes, de que uno de los aspectos fundamentales que demanda el sector empresarial, es una formación en valores. Formar ciudadanos competentes, respetuosos de lo público, que ejerzan los derechos humanos, que cumplan con sus deberes y convivan en paz. Además, necesitamos una educación que genere oportunidades legítimas de progreso y prosperidad para todos los ciudadanos y para el país en su conjunto. Precisamos una educación competitiva, pertinente, que contribuya a cerrar las brechas de inequidad y en la que participe toda la sociedad. En esa propuesta recogemos los elementos centrales de lo que está buscando el Ministerio de Educación para lograr una educación de calidad.

### ***1. Ingeniería e innovación***

Además de ser uno de los cuatro ejes centrales que enmarcan todo el plan de desarrollo, es una de las llamadas locomotoras para el desarrollo del país. La política

de innovación está basada en tres pilares. El primero es la ciencia y la tecnología. ¿Cuáles son los objetivos estratégicos en el pilar de ciencia y tecnología? En primer lugar establecer una infraestructura científica y tecnológica líder en Latinoamérica, para satisfacer necesidades productivas y sociales. Hay que invertir en infraestructura, en laboratorios, en equipos. Ustedes se preguntarán de dónde va a salir la plata. Creo que el acto legislativo que se firmó el semestre pasado, que reforma el sistema nacional de regalías, es la fuente para lograr todo esto, porque hoy en Colombia es de orden constitucional que el 10% de las regalías vaya al fondo nacional de ciencia, tecnología e innovación. Como veremos más adelante, ese 10% es para el año 2012 y supone cerca de 940 mil millones. En el 2013, superará el billón de pesos, unos 500 millones de dólares anuales, dedicados a proyectos de ciencia, tecnología e innovación.



Gráfica 3. Estrategia nacional de innovación

Respecto a la ejecución y distribución de estos recursos hago un par de apuntes. En primer lugar, de acuerdo con el acto legislativo, el órgano máximo de gestión y decisión está formado por doce personas, de las que seis provienen del sector académico: seis rectores con sus delegados (cuatro de universidades públicas y dos de universidades privadas). Es decir, el sector académico, y así lo ha señalado muy claramente el señor presidente, juega un papel protagonista en la selección de proyectos y en la distribución de recursos. En segundo lugar, los proyectos deben tener un impacto regional, deben estar formulados desde las regiones, tener el aval, digámoslo así, de la región. Deben ser presentados, ojala, en forma conjunta con otras instituciones (ahí hay un reto enorme para las facultades de ingeniería).

El segundo objetivo estratégico es proteger la creación intelectual para la generación de conocimiento de vanguardia. Colombia ha venido avanzando en este aspecto; pero hay que continuar el avance en la financiación de una investigación y desarrollo de talla mundial, para solucionar problemas específicos.

El segundo pilar es el capital humano, la formación de las personas. De nuevo, ustedes, como directivos de facultades e instituciones de educación superior, son protagonistas. El objetivo es formar capital humano altamente calificado para la transformación productiva. Hay que mirar las ciencias básicas; pero hay que mirar mucho más las ciencias aplicadas y la misma ingeniería, para educar con calidad de talla mundial a los profesionales de las regiones colombianas. En la calidad hay unas brechas enormes, como lo muestran los resultados tanto en la prueba Saber Pro como en todas las otras pruebas que realiza el gobierno a través del ICFES, así como la acreditación de programas y la acreditación de instituciones. Se trata de formar a todos los jóvenes en habilidades innovadoras, desarrollando mucho más esa capacidad que con frecuencia tiene nuestros niños y que después, ya como jóvenes y adultos, hemos conseguido limitar.

El tercer pilar es la innovación para la competitividad, que tiene tres objetivos estratégicos. El primer objetivo es incentivar la innovación empresarial, no solamente la innovación de los individuos. Se trata de que las empresas tengan una actitud innovadora, que haya mayor inversión de las mismas empresas en innovación y desarrollo. Además nos proponemos crear un ecosistema para el emprendimiento innovador. Finalmente buscamos fomentar la innovación social, concepto bien interesante, que ha venido desarrollando uno de los altos consejeros de presidencia. De acuerdo con este último objetivo, toda la gestión que hace el gobierno, tanto nacional como local, y lo que hacen todas las organizaciones sociales, podría tener más impacto. Por ejemplo, se podrían disminuir los niveles de pobreza mediante una innovación social. Para lograr todos estos objetivos estratégicos se requieren unas reformas institucionales. Parte de ellas ya se han hecho, mediante la creación del Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación. Otra parte se viene realizando a través del proyecto de la ley que deberá cursar para la reglamentación del acto legislativo, y del papel que van a jugar los diferentes actores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación.

¿Qué puede aportar la ingeniería en este cuadro? Tras revisar muchas posibles definiciones de ingeniería, lo que ve uno es que la ingeniería es innovación casi por su propia naturaleza. La ingeniería toma una serie de conocimientos, técnicas científicas y de gestión, y las aplica a la invención, innovación, perfeccionamiento y utilización de técnicas, metodologías y procesos, orientados precisamente a la solución de problemas que actúan directamente en los seres humanos, haciendo uso del ingenio y la creatividad. Es decir, la ingeniería, en buena parte, como su nombre lo indica, proviene de ingenio y creatividad: la ingeniería es innovación. Ahora bien, como todos sabemos, si uno quiere que haya más innovación, si quiere formar para la innovación, lo primero que hay que hacer es innovar en la educación y es quizás lo que menos hacemos. Esperamos unos ingenieros creativos, innovadores, bien formados, que puedan responder a estos cambios tan rápidos que vienen de la

tecnología, del conocimiento, etc. Para que esto sea posible tenemos que innovar mucho más en la misma formación. No podemos formar a los profesionales que hoy se requieren con las mismas metodologías con las que se viene trabajando en las facultades de ingeniería desde hace 50, 100 o 150 años.

## 2. Retos de la ingeniería

Les invito a que miremos cuáles son los retos más importantes de la ingeniería y cómo estamos respondiendo a esos retos desde las facultades de ingeniería. Hay varios documentos que plantean cuáles pueden ser los grandes retos de la ingeniería en el mundo. Un documento de la *Corporación RAND-Researching and Development*, plantea 12 retos, de los que hemos seleccionado seis porque creemos que son muy cercanos a las condiciones colombianas.

Agroindustria	Relacionado con todo el sector alimentario en el que Colombia podría ser una potencia industrial. Creo que la utilización agrícola de la tierra no supera el 10%. Además el valor agregado a la producción agrícola en el procesamiento es muy limitada
Infraestructura vial y portuaria	Colombia es económicamente débil en cuanto a infraestructura vial y portuaria
Minería y energía	En este aspecto, Colombia tiene un potencial enorme, que, hasta el momento, no ha sabido aprovechar.
Sostenibilidad ambiental	Mucho de lo poco que hacemos lo hacemos muy mal, con unos impactos ambientales tremendos, con una muy baja redistribución e impacto social de la riqueza. En zonas del Caribe, en el Cesar y en el sur del Magdalena, coexisten zonas carboníferas con grandes riquezas y grandes pobreza de la población
Tecnologías de información y comunicación	El tema de las nuevas tecnologías, aunque ya tiene diez o veinte años, en Colombia supone un gran reto y una gran oportunidad
Salud	Para la ingeniería, con temas como la química farmacéutica, la ingeniería biomédica, de materiales, etc., es un gran reto.

Tabla 1. Algunos retos de la ingeniería en Colombia

Estos seis retos coinciden con lo que el gobierno nacional ha llamado las cinco locomotoras para el crecimiento y la generación de empleo.



Gráfica 4. Locomotoras del gobierno nacional de Colombia para el crecimiento

Agricultura y desarrollo rural	El tema agropecuario está relacionado con ese gran reto de la ingeniería que es la agroindustria y la producción alimentaria.
Infraestructura de transporte	La infraestructura es una gran necesidad del país. No es necesario decir el importantísimo papel que juegan las facultades de ingeniería en el tema de la infraestructura del transporte. No nos referimos únicamente a los aspectos técnicos, sino a los aspectos éticos que en este tema son críticos y que se convierten en retos para una educación de calidad.
Desarrollo minero y expansión energética	Coincide también con uno de los grandes retos de la ingeniería. Debe ser perfectamente posible explotar las riquezas naturales que tiene el país, manteniendo el ambiente y la sostenibilidad: ese es el reto de la ingeniería.
Nuevos sectores basados en la innovación	Colombia tiene grandes oportunidades, siempre que nos preparemos para ello. Importante reto para las facultades de ingeniería es preparar a los futuros ingenieros para innovar y aprovechar la innovación.
Vivienda	En este aspecto las necesidades del país son enormes. La ingeniería juega un papel central en la solución de estas necesidades.

Tabla 2. Locomotoras del gobierno de Colombia para el crecimiento

Estos son los retos que tiene la ingeniería colombiana, que, como vemos, se alinean casi perfectamente con las cinco locomotoras para el crecimiento y con los llamados sectores de talla mundial.

Miremos ahora cómo están respondiendo a estos retos las facultades de ingeniería del país. Para ello hemos agrupado la oferta de programas y el número de egresados, de acuerdo con estos seis sectores: agroindustria, infraestructura vial y portuaria, minería y energía, tecnologías de la información y las comunicaciones, sostenibilidad ambiental y salud.

Los datos se han obtenido del Observatorio Laboral para la Educación (OLE), que es un sistema de información que hace seguimiento individual a cada uno de los 1.900.000 graduados de la educación superior desde el año 2001. Esto se consigue cruzando las bases de datos del sistema de seguridad social, con otros sistemas como los del Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Los análisis se pueden hacer por carrera, por institución, por región, y permiten conocer la respuesta que da el sector productivo a los profesionales que se forman en el país, a través de la empleabilidad de los graduados.

- Agroindustria



En esta área el país ofrece 500 programas, teniendo en cuenta los programas técnicos profesionales, tecnológicos, universitarios y posgrados. En el año 2010 hubo 14.312 graduados de estos 500 programas, lo que supone un promedio de 30 graduados por programa. El número de graduados representa el 5,7% de los 249.000 graduados en educación superior, en el año 2010, en Colombia, que debe responder a esta locomotora, a este gran reto de la ingeniería para el país.

- Infraestructura vial y portuaria



En el área de infraestructura vial y portuaria hay 262 programas. En este tema hay menor dispersión que en el anterior. En ingeniería civil hubo cerca de 11.000 graduados en el año de 2010. El número de graduados en el año 2010 en este sector corresponde al 5,5% del total de los graduados en educación superior.

- Minería y energía



En los programas correspondientes a minas y energía hay 15.599 graduados. Muchos de ellos son de ingeniería mecánica con poco más de 6.000 graduados, porque hay que tener en cuenta que no todos los graduados de esta profesión se dedican a este sector; otros son de ingeniería química, con unos 4.500 graduados; otros provienen de ingeniería de petróleos y otras carreras como ingeniería física. El número de graduados en esta área representa el 6,2% del total de graduados en educación superior.

- Tecnologías de información y la comunicación



En esta área es donde hay más ingenieros. Sobre un total de 2.014 programas, 212 son técnicos, 570 son tecnológicos y 1.119 son programas profesionales universitarios. En esta área se incluye la ingeniería de sistemas, pero también la ingeniería electrónica que se disparó en número de programas al principio de los años 2000. En esta área se encuentra el 26,2% de los graduados del país. Es un área que cuenta con muy buena demanda por parte del sector productivo.

- Sostenibilidad ambiental



En esta área no resulta sencillo hacer la división entre los diversos programas. Está la ingeniería ambiental; pero muchos ingenieros civiles, por ejemplo, trabajan en el área de la sostenibilidad ambiental. Se puede afirmar que poco más del 3% del total de graduados, o sea 8.511, está en el área de sostenibilidad ambiental.

- Salud



El área no se refiere a profesionales de la salud, sino a las áreas técnicas o tecnológicas del área de la salud. Además, en esta área hay que tener en cuenta la presencia de la mayor parte de los ingenieros químicos que realizan su ejercicio profesional en el sector de los laboratorios químicos. Hay 5.701 graduados. Si restamos los ingenieros químicos, quedarían únicamente 1.300 entre todos los profesionales que tienen que ver con el sector técnico o tecnológico de la salud.

El porcentaje total de los graduados que están más directamente relacionados con los sectores locomotora o con los grandes retos, es aproximadamente del 50%. En una primera aproximación, de acuerdo con los porcentajes mencionados, se podría afirmar que el sector de la educación superior está respondiendo a las necesidades del país. Carreras transversales como administración, ciencias sociales, humanidades, derecho, conforman el 50% restante. Se podría decir que muchos de esos programas también pueden estar relacionados con las locomotoras para el desarrollo. Estamos haciendo estudios detallados con los diferentes sectores, como por ejemplo el ministerio de agricultura y desarrollo rural, con quienes estamos adelantando un inventario de profesionales y un estudio de la demanda profesional del sector, para analizar la oferta existente. Lo estamos empezando con el sector minero energético, en el cual el país tiene buenas expectativas y de donde, además, provendrían esos recursos tan importantes, mediante las regalías para todo el sector: para la innovación, la investigación, la ciencia y la tecnología. También en el sector salud, que es un sector muy grande, muy complejo, con muchos niveles de formación. Esperamos tener, en pocos años, una metodología, un modelo

de prospección del capital humano en el país, con la capacidad de prospectiva. Pretendemos que, dependiendo de los diferentes escenarios para el desarrollo, puedan los académicos, los directivos de las instituciones y facultades del país, ver hacia dónde pueden o deben orientar la formación de los profesionales, y tener un marco claro de cualificaciones en el que se describan de una manera más bien general, las competencias requeridas en cada uno de los niveles del desempeño laboral, en cada uno de los sectores. Es un proyecto a muy largo plazo en el que participamos cuatro ministerios y el Departamento Nacional de Planeación.

Otro aspecto importante para analizar los sectores mencionados es el salario base cotización.

Sector	Salario	Vinculación al sector formal
Infraestructura vial y portuaria	\$ 1.458.195	86,8%
Minería y energía	\$ 1.748.424	80,9%
Sostenibilidad ambiental	\$ 1.422.528	76,9%
Salud	\$ 1.527.150	76,9%
Agroindustria	\$ 1.362.959	74,8%
TIC	\$ 1.582.428	81,2%
Promedio base Ingeniería	\$ 1,632,741	81,3%
Promedio nacional	\$ 1.783.049	80,0%

Tabla 3. Vinculación laboral de los recién graduados de la Educación Superior.  
Observatorio Laboral para la Educación

En la tabla se observan el grado de vinculación al sector formal y el porcentaje de graduados de la educación superior que cotiza a la seguridad social. El promedio general para ingeniería es del 81,3%: está por encima del promedio nacional que es del 80%. El salario básico de cotización de ingreso, es el salario de ingreso apenas se gradúan. El periodo de análisis es de septiembre a noviembre del 2010, o sea para los graduados en el 2009. El 81,3% de esos graduados estaba cotizando y su salario básico de cotización era de \$1'632.000.

Los más altos salarios de ingreso lo tienen los ingenieros de petróleo. Un ingeniero de petróleo graduado en el 2009 tenía un salario de enganche de cerca de \$2'800.000 en el 2010, que está más de \$1'000.000 por encima del promedio nacional y un poco por encima del promedio de ingeniería. El segundo salario más alto, el de los geólogos, corresponde también al sector del petróleo.



A los porcentajes de vinculación formal hay que sumarles el porcentaje de los que han seguido estudiando que, en promedio, representa más o menos un 4%. No hemos logrado hacer el cruce con los que salen del país que, suponemos, aportaría otro tanto.

Si comparamos esta información con el nivel de formalidad a nivel nacional, vemos que lo duplica. El nivel de formalidad nacional a duras penas alcanza al 40%. El 40% de los trabajadores colombianos, o más bien de la población en edad de trabajar, está en el sistema de seguridad social, cotiza al sistema de seguridad social. Otro referente es que un bachiller graduado en el 2009 y que en el 2010 no hubiera tenido oportunidad de acceder a la educación superior, y si estaba en el mercado laboral, tenía ingreso de \$380.000. De estos datos se deduce una conclusión muy importante para el país: ¡hay que formarse!

### **La formación del ingeniero**



Gráfica 5. Elementos comunes en la formación del ingeniero

El ingeniero, en primer lugar, requiere unas excelentes bases en matemáticas, ciencias naturales, ciencias sociales y humanas, y en ciencias económicas. El trabajo que ha venido realizando ACOFI, mediante la evaluación intermedia<sup>1</sup>, creo que da muchas luces a las instituciones para orientar la formación en el área básica. Un profesional debe formarse con unos valores éticos muy claros. Este asunto es muy importante. Por eso insistimos en ello y lo ponemos en primer lugar. Este es uno de los grandes retos de las facultades de ingeniería, en particular, y de todas instituciones de educación superior del país. En el Ministerio con frecuencia nos dicen que el problema no está en la reforma de la ley, sino en la formación ética

<sup>1</sup> Examen de Ciencias Básicas, EXIM, prueba organizada y aplicada por ACOFI desde 2007

de los profesionales, porque en más de un caso, son los graduados de las mejores facultades del país los que están desfalcando al país.

Los profesionales deben ser personas con unas buenas capacidades de liderazgo, creativos, innovadores y capaces de realizar un trabajo interdisciplinario. Deben tener siempre en mente el desarrollo sostenible, deben poseer unas competencias genéricas, asociadas con las competencias analíticas, las competencias comunicativas, empresariales, la solución de problemas en contexto y el aprendizaje a lo largo de la vida.

En este aspecto recojo la propuesta de ACOFI, en el sentido de fomentar una mayor articulación con los consejos profesionales de ingeniería. Se debe propiciar un trabajo más articulado entre las instituciones de educación superior, los consejos profesionales, las asociaciones que ejercen ese papel y el gobierno nacional. Entre los países que hemos analizado, Colombia es uno de los países que más tiene leyes para el ejercicio de la profesión. Cada ley tiene su consejo y tiene su burocracia que poco se articula y participa con el sector de la formación. Creemos que es un trabajo que va más allá de la ley de educación superior y que, además, requiere un trabajo político y de coordinación con diferentes agentes, los cuales tienen muchos intereses, de muy diferentes tipos. Consideramos que ahí existe un aporte grande a la solución del problema. Es importante que, desde el ejercicio profesional, se aporte mucho más a la formación: es el aspecto del aprendizaje a lo largo de la vida.

En el sector salud se trató de hacer una ley con la que se intentó exigir una recertificación a los programas, actualización y capacitación permanentes. Lamentablemente fue demandado y declarado inexecutable por la Corte Constitucional. Sin embargo, creo que el gobierno tiene sus ojos puestos en este asunto y probablemente lo afrontaremos después de los avances en ley de educación superior.

Otro aspecto asociado son las competencias que deben desarrollarse desde la educación básica y media. Las competencias comunicativas; las competencias matemáticas, fundamentales para la formación de ingenieros; las competencias científicas también fundamentales para toda la ingeniería y la innovación; y las competencias ciudadanas que, teniendo en cuenta las condiciones actuales y la historia de este país, resultan fundamentales. Precisamente estamos culminando la negociación de un crédito con una banca multilateral que va a tener dos componentes: el de competencias ciudadanas en todo el sistema educativo y la innovación de las alianzas para formación técnica y tecnológica. Consideramos que éste es un aspecto fundamental en la formación de cualquier profesional colombiano, y que empieza desde la primera infancia.

Las competencias genéricas para la educación superior, tal como se mencionó, van a evaluarse en noviembre. La propuesta está aún en etapa de ajustes, evaluación e implementación, por ser muy reciente. Se trata de las pruebas Saber Pro que se realizarán en noviembre de este año. Las pruebas están diseñadas con unos módulos, que comparten cierto número de programas, no todos de la misma área y que, en el mediano y largo plazo, van a dar la posibilidad y la trazabilidad para una evaluación estadística mucho más amplia de lo que nos daban los antiguos ECAES que se realizaban a las 54 áreas del conocimiento previstas en el Ministerio.

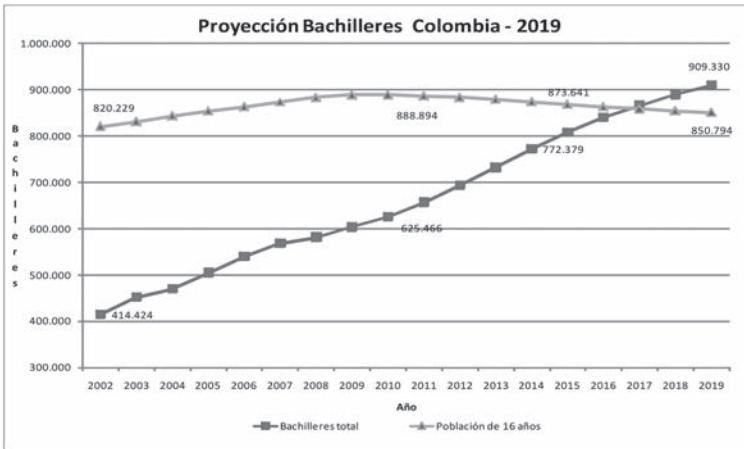
Con respecto a las competencias específicas en ingeniería, todo empezó con el decreto 2566 del 2003, las resoluciones específicas de ese mismo año y del año siguiente, y la ley 1188 de 2008, por la cual se regula el registro calificado de los programas de educación superior y en el que el Ministerio con los docentes y directivos fijarán las características específicas de calidad de los programas de educación superior.

Colombia ha empezado a participar en el *Assessment of Higher Education Learning Outcomes, AHELO*, por sus siglas en inglés, que es un proyecto de una prueba profesional. Probablemente ustedes conocen la prueba PISA para los niños de 15 años, diseñada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, *OECD*. A partir del año 2011, Colombia está trabajando en dos de las tres pruebas propuestas: una prueba de competencias genéricas y una prueba para ingeniería civil; la otra prueba es de economía y todavía está en construcción por parte de la *OECD*. Este es un proyecto muy interesante. Esperamos que, para finales de año, haya ya un piloto de esta prueba y sea una evaluación de los resultados, de las competencias o desempeño de los estudiantes de último año. Yo creo que esto va a contribuir con lo que ya viene realizándose desde el ICFES en Saber Pro y con lo que ha venido realizando ACOFI con las pruebas intermedias, y nos va a dar unos referentes internacionales. En el Ministerio siempre hemos pensado que está muy bien evaluarse y mirarse uno cómo está; pero esa evaluación queda incompleta si no se tienen los referentes tanto a nivel nacional como, y muy especialmente, a nivel internacional.

### **3. Proyecto de reforma de la educación superior**

Desde el 10 de marzo de 2011, el gobierno nacional puso en discusión en todo el país una propuesta de reforma, que tiene mucho que ver con lo que mencioné al principio.

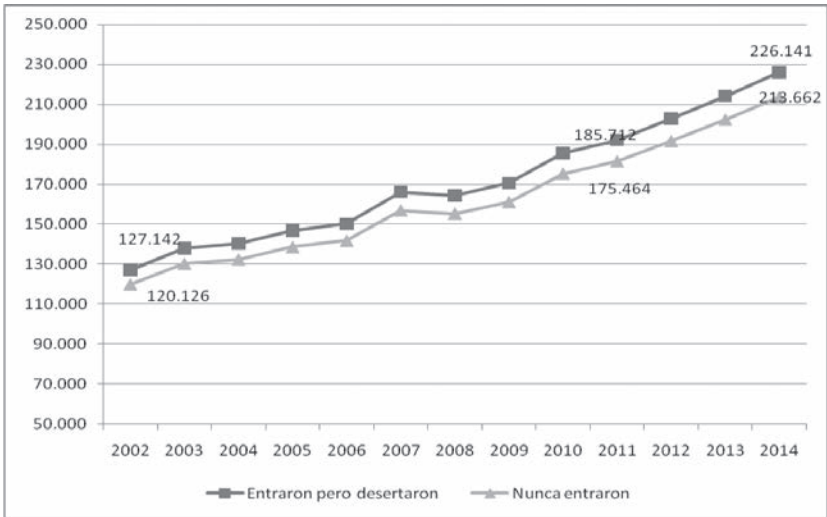
En Colombia se gradúan cada vez más bachilleres. En la gráfica número 6, la línea superior corresponde a los jóvenes entre 16 y 17 años y la inferior al número de bachilleres.



Gráfica 6. Proyección de la población de bachilleres en Colombia

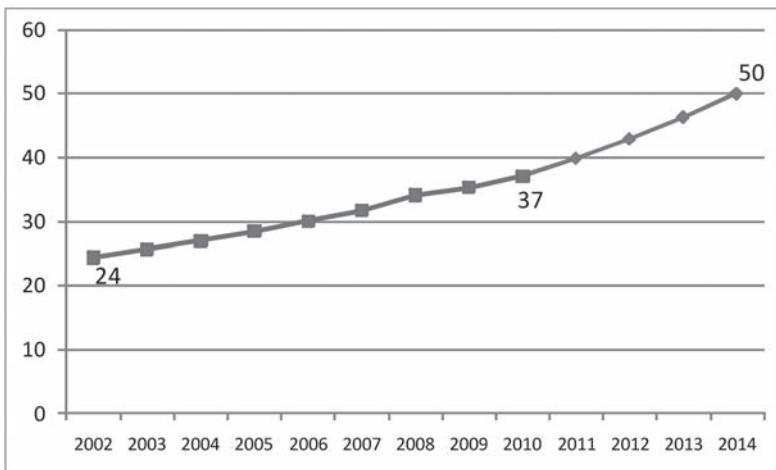
La inmensa brecha que se aprecia se viene cerrando. Se prevé que hacia el 2018 las dos curvas se van a unir. Después habrá unos pocos más bachilleres por la “extra edad”, porque hay también bachilleres de 18 y más años. La meta para el año 2014 es que la cobertura en educación media, es decir en los grados 10 y 11, llegue al 85%. Actualmente está llegando al 75%. El incremento de cobertura de los últimos años, más el aumento planteando para los años que todavía tiene este gobierno, van a ejercer una presión grande sobre la educación superior del país. Todos estos bachilleres van a querer, y además tienen todo el derecho a hacerlo, acceder a programas de educación superior. Este es un reto enorme para todo el sistema de educación superior en Colombia.

La gráfica número 7 muestra, en la línea inferior, los jóvenes que se graduaron como bachilleres y no ingresaron en educación superior. Si a esos números les sumamos los correspondientes a los que ingresaron pero nunca se graduaron, representados en la línea superior, el total nos da 3.226.213 bachilleres que no ingresaron a la educación superior o ingresaron y desertaron. Estos jóvenes, tienen hoy entre 17 y 27 años, y ni se han graduado, ni están estudiando un programa de educación superior. Es una cifra descomunal. Cuando mostramos estos datos al alto equipo de gobierno encontraron razones que explican el desempleo entre los 17 y los 27 años, que supera el 21%, duplicando el porcentaje general de desempleo en el país. Además, algunos de estos jóvenes, lamentablemente, pueden estar vinculándose con los grupos al margen de la ley. Hay que dar oportunidades a estos más de tres millones de jóvenes. Consideramos nosotros que es una responsabilidad prioritaria del país.



Gráfica 7. Población de bachilleres que no ingresa a la educación superior y población que ingresa pero deserta (2000-2014)

A continuación quiero hacer algunos comentarios sobre la cobertura. En el año 2002, teníamos un 24% de cobertura; en el 2012 estaremos en el 37%. El gobierno se ha planteado la meta de alcanzar el 50% en el 2014. Esto quiere decir que algo más de 640.000 jóvenes deben estar estudiando algún programa de educación superior. Ha habido avances importantes en cobertura, aunque la población estudiantil todavía sigue muy centrada en los programas tradicionales de nivel profesional e universitario.



Gráfica 8. Tasa de cobertura en educación superior (2002 - 2014)

En el año 2011, tenemos una cobertura del 39,6%, lo que supone un avance importante. Pero como decía al principio, es un avance totalmente desequilibrado, con gran inequidad y con grandes brechas regionales. La gráfica número 9 muestra que, por encima del promedio nacional, se sitúan Bogotá, Antioquia, Santander, Atlántico. Casi la mitad del país tiene una cobertura menor al 15%. Son unos niveles de cobertura realmente muy heterogéneos. Si se reúnen cinco entidades territoriales, Bogotá, Antioquia, Valle, Santander y Atlántico, tienen el 65% de los estudiantes del país; pero no tienen el 65% de la población, sino apenas el 48%. Hay una importante desproporción, hay una migración muy grande hacía esos centros urbanos, lo que al final trae muchas dificultades en aspectos socioeconómicos para el país. Esta es una razón más para pensar que el Estado tiene que ofrecer muchas más oportunidades a los colombianos para que se formen en educación superior.

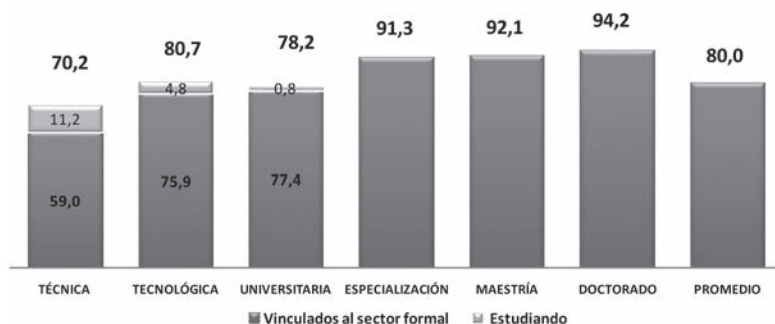


Gráfica 9. Tasa de cobertura departamental por rangos (2010)

También hay avances en calidad. En una reunión internacional sobre calidad, nos decían que Colombia fue uno de los primeros países, no sólo en Latinoamérica sino en el mundo, que implementó un sistema de acreditación de alta calidad. Aunque ha habido avances importantes, actualmente sólo el 13% de los programas tiene acreditación de alta calidad. Ese dato supone un poco menos de 700 programas. En cuanto a instituciones, sólo 22 de las 286 instituciones tienen acreditación de alta calidad, lo que representa el 7,5% de las instituciones.

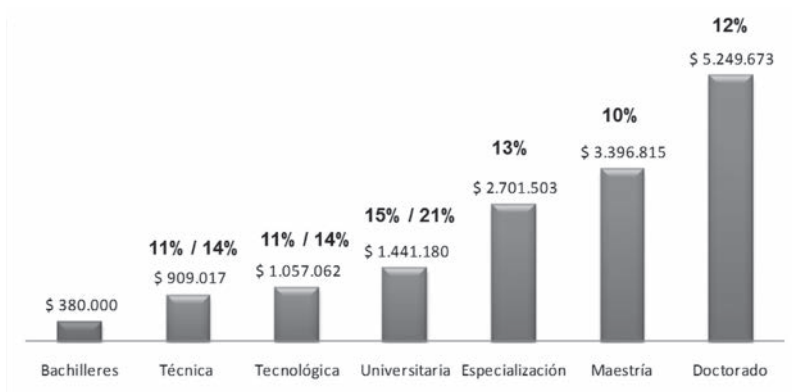
La gráfica número 10 muestra la tasa de formalidad entre los graduados en 2009, de manera más precisa, muestra la cotización al sistema de seguridad social. Vemos que aparecen el 70% de los técnicos profesionales, el 80% de los tecnólogos, el

78% de los universitarios, el 91% de los especialistas, el 92% de los magísteres y el 94% de los doctores.



Gráfica 10. Porcentaje de graduados de 2009 estudiando en educación superior y trabajando en el sector formal

Respecto de los salarios básicos de cotización, hay un incremento significativo asociado con el nivel de formación. No parece socialmente admisible que una persona bachiller esté teniendo un ingreso de \$380.000. Con un año más de formación, si el joven está en un programa de articulación de la media con la superior en un programa técnico profesional, puede más que duplicar ese ingreso.



Gráfica 11. Cuota de amortización de crédito educativo como porcentaje del salario real de los recién graduados (precios constantes 2010)

Los datos que presenta la gráfica número 11 son muy interesantes. Como se puede ver, en la mayoría de los casos, está entre el 11% y el 15%, a excepción de la formación universitaria, que se toma como promedio en los 5 años; aunque si son 4 años es un poco menor. De todas maneras está entre el 15% y el 20%.

Para poder cumplir con los objetivos de la reforma:

- Primero, debemos generar condiciones para que toda la oferta de educación superior sea de calidad y lo hacemos a través del fortalecimiento de un sistema de calidad con los elementos del aseguramiento de la calidad, la acreditación y el fomento. El tema del fomento es bien importante. A diferencia de la ley 30 de 1993, se proponen unos artículos en los que se desarrolla el fomento, haciendo explícito que el gobierno puede hacer aportes directos, a través de convocatorias claras y transparentes, a las instituciones tanto públicas como privadas, para el mejoramiento de la calidad, como estímulo a la acreditación de alta calidad. La evaluación es un elemento importante del sistema de calidad, cuyos resultados van a impactar los elementos de los otros componentes del sistema, tanto el registro calificado como la acreditación.
- En segundo lugar, hay que conseguir que se puedan graduar más colombianos. Otra diferencia con la ley 30 de 1993 es que la equidad se pone en primer lugar. Es decir, debe existir la posibilidad de que todo colombiano que tenga los méritos, que quiera estudiar y que cumpla unas condiciones, porque la educación superior requiere de unas condiciones, pueda estudiar un programa de educación superior. No se trata de que ingrese, sino de que se gradúe. Porque el problema de la deserción es que, de cada dos estudiantes que ingresan, sólo uno se gradúa. Vamos a intentar reducir la deserción a partir de medidas que tienen que ver con las instituciones: más recursos para las universidades públicas, más oportunidades de crédito educativo para los estudiantes que quieran ir a las universidades privadas, mayor flexibilización en la oferta y fortalecer la participación regional que se hace especialmente a través de estímulos en la distribución de los aportes adicionales al sistema público.
- El tercer gran objetivo, en el que creo que no ha habido ninguna controversia, propone llevar la norma, el marco legal de la educación superior, a este segundo decenio del siglo XXI. En el año 1992, a duras penas se hablaba de internacionalización, la constitución política era muy reciente y en ese momento se empezaban a mencionar temas como la equidad, la inclusión, etc.
- Por último, hay que fortalecer el buen gobierno y la transparencia del sector. La propuesta de reforma plantea unos aspectos importantes en cuanto a inhabilidades e incompatibilidades en los órganos de dirección de las instituciones, todo muy centrado en la protección del objetivo principal de la educación que es la formación de los estudiantes. Hay que tener en cuenta que, en buena parte, el futuro de un país está en su educación. Las familias y los jóvenes ponen su confianza en las instituciones de educación superior, en uno de los



procesos más importantes en su vida, que es el de su formación. Además, se ponen recursos muy importantes. El sector de la educación superior mueve en Colombia poco más de 7,8 billones de pesos. Si se suman otros recursos relacionados con el SENA, etc., se superan los 10 billones de pesos al año. Por lo tanto, consideramos que es absolutamente necesario, responsable y sensato, que haya una rendición de cuentas, una transparencia total en el uso de esos recursos, incluyendo, el recurso humano.

En el proceso planteamos unos principios y recogimos muchos de los aportes del diálogo nacional que se generó alrededor de la propuesta de la reforma. Un diálogo en el que participaron más de 150.000 personas a través de foros virtuales, foros regionales y reuniones más específicas. Entre los principios que mencioné, el de equidad, el de inclusión, el de plantear de manera explícita en proyecto de ley la educación como un derecho y como un bien público y organizar un sistema de educación superior mucho más articulado, por ejemplo, con el sistema nacional de ciencia y tecnología. Incluimos también el sistema nacional de regalías que, como mencioné, es una fuente muy importante de recursos para el sector de la educación.

Para terminar, una palabra acerca de los recursos para la reforma. Se plantea que, en los próximos 3 años, habría más o menos 586.000 millones de pesos adicionales. A través del crédito educativo ingresarían 900.000 millones. Es una cifra muy importante. De ellos, 471.000 millones son para subsidios de sostenimiento y líneas especiales; con lo cual, a través de subsidios a los estudiantes de SISBEN de los niveles 1 y 2, se espera lograr reducir, en parte, la deserción.

En esas cifras del billón y medio no se incluye lo relativo a regalías. En regalías hay dos aspectos importantes en el acto legislativo que reformó el sistema nacional de regalías. El primero y más conocido, es que el 10% de las regalías es para ciencia, tecnología e innovación. El segundo aspecto, que supuso un esfuerzo muy grande del Ministerio en el Congreso de la República, es incluir la educación como uno de los sectores prioritarios en la inversión de los recursos de las regalías a nivel territorial. En el acto legislativo quedó incluido que puede haber inversión en infraestructura física por parte de las entidades territoriales como recursos de regalías. El proceso ha enriquecido enormemente el debate. Lamentablemente no todas las discusiones se han dado con toda la información o el conocimiento de lo que se plantea. Creo que ha habido, por parte del gobierno, una receptividad muy importante a los aportes del sector.

Por supuesto, todos ustedes son conscientes de que nunca habrá suficientes recursos para la educación. La educación superior ha crecido en todo el mundo. También ha crecido enormemente en costo. Algunos estados han venido incrementando

sus aportes; otros han tenido que disminuirlos y diversificar las fuentes de ingreso. Hasta ahora, el estado colombiano está planteando una reforma que apunta a una mejor educación, con un compromiso muy importante del gobierno central.