

# PERSPECTIVAS

---

## SOBRE EL PERFIL CRITICO DEL PROFESIONAL Y EL CIENTIFICO JOVEN

ERNESTO N. MARTÍNEZ

Centro Atómico Bariloche e Instituto Balseiro - Bariloche

---

*Y la pregunta surge: "¿Qué clase de hombre es aquél que busca, llama e interroga?"*  
Paracelso

### Introducción

Hace años conocí a un norteamericano que participó en la guerra de Vietnam. Toda una generación de sus compatriotas -mi generación, la de los Beatles- tomó parte en esa guerra, a favor o en contra; lo que me llamó la atención fue cómo este hombre llegó a su papel. Cuando el Tío Sam lo incorporó- en esos tiempos el servicio militar era obligatorio en los EE. UU.- le tomaron una batería de pruebas de todo tipo y calibre, y como resultado le dijeron que para lo que él servía era para *instructor de pilotos de helicópteros*. Mi conocido explicó que nunca había estado en un helicóptero, no era piloto, y mal podía enseñar a nadie cómo pilotarlos. Supongo que un soldado raso en los EEUU tiene tantas probabilidades de ganar una discusión con sus superiores como aquí; luego de su propia instrucción, instruyó pilotos hasta terminar su servicio. Según me dijo, lo hizo tan bien como cualquier otro.

En mis años juveniles pasé por gabinetes de orientación profesional, y me enteré de que hay ciertas características personales que aumentan las probabilidades de éxito en algunas profesiones, pero me dio la impresión de que nadie se tomaba en serio esas

predicciones que siempre parecían apuntar, de manera muy difusa, para el mismo lado que las preferencias del paciente. El del instructor de pilotos de helicópteros fue el primer caso que vi en que alguien actuara seriamente en base a un *perfil* que recomendaba una ocupación tan esotérica y puntual.

La palabra *perfil* en este contexto significa un cedazo, una zaranda -tal vez una galga de mecánico sea una comparación mejor- psicológica que deja pasar solamente lo que se quiere. Buenos instructores de pilotos, por ejemplo. La palabra usada en computación para esta herramienta es *filtro*. Dicho sea de paso, Adolfo Bioy Casares incluye la palabra *perfil*, en el sentido en que la estoy usando, en su *Diccionario del argentino exquisito*, así que supongo que estoy en falta idiomáticamente. Para alguien que usa *chequear* y *fitear* todo el tiempo, esto es no es un problema.

Esta criba se puede aplicar por lo menos en dos ocasiones distintas. La primera, cuando se quiere saber si un candidato tiene condiciones que justifiquen el tiempo y gasto de un entrenamiento, la segunda, al final de éste, para ver si dio resultado. Simplificando mucho, podríamos decir que el primer perfil se basa en las condiciones *innatas*, el segundo en las *adquiridas*. En el caso de mi conocido, el primer perfil fue el que usaron sus reclutadores para deter-

minar que tenía las condiciones necesarias para ser instructor, y el segundo le servía al Pentágono para diseñar un curso de entrenamiento que llevara al candidato a transformarse en uno en un tiempo determinado.

Aquí quiero discutir ambos aspectos del perfil de un investigador científico: cuáles son las características innatas que debe reunir, y cómo puede ayudarlo nuestro sistema educativo a aprovechar esas dotes. En otras palabras, qué es lo que Natura debe dar, y qué puede prestar Salamanca.

### Limitaciones y alcances

Se puede asgüir que para discutir estos temas con autoridad se necesitarían un buen sicólogo y un especialista en ciencias de la educación, mientras que yo soy físico, y mi ignorancia en estas disciplinas es enciclopédica. Sin embargo, hay una buena razón para que yo -o cualquier otro investigador, que seguramente cantaría con mejor uña- hable sobre este tema: las decisiones sobre el tema las vamos a tener que tomar nosotros mismos, no los sicólogos ni los educadores en general, y es mejor que nos sentemos a discutir con lo poco que sabemos por el momento. Ya iremos aprendiendo más. En realidad, la situación es peor, pues las decisiones claves -adónde va la plata- las tomarán personas con menos conocimiento todavía que nosotros.

Quedan entonces advertidos los oyentes: relataré mi propia experiencia en un ámbito reducido, el del Instituto Balseiro de Bariloche, desde el punto de vista de un profesor de Física. Si los que me escuchan disienten con lo que digo, es probable que tengan razones tan buenas como las mías, o mejores. Por suerte, tenemos el resto de la reunión para discutir nuestras diferencias.

### La triste verdad

Hay otro punto que debo aclarar: los perfiles psicológicos de diferentes ocupaciones son de gran utilidad para contratar y entrenar personal, pero lo cierto es que no parecen existir todavía para físicos, y tal vez tampoco para otras clases de científicos. Puede ser que ésto se deba a que, siendo los científicos escasos, aún no se haya recopilado información suficiente sobre ellos como para ensamblar perfiles confiables.

Hay una segunda posibilidad, más halagüeña para los que estamos reunidos aquí: que seamos tan personales e irreproducibles que ningún sicólogo nos pueda definir a priori. Demás está decir que me gustaría que la segundo fuese la correcta, pero me temo que sea la primera causa la que dificulta el proceso de elección de científicos.

Sea como sea, durante años he interactuado con sicólogos en la búsqueda de futuros físicos, y me han dicho que no veían un denominador común que estuviéramos buscando. En efecto, más que decir "quiero tales y tales cualidades", los físicos de la comisión de selección del IB parecíamos estar diciendo: "muéstrenos lo que tenga, y veremos". No me extraña, pues la Física ha crecido gracias a tantos genios supersticiosos (como Newton), niños terribles (como Feynman), profesores formales (como Sommerfeld o Plank), hippies honorarios (como Einstein) y excéntricos (Onsager), que ya los físicos somos reacios a cualquier tipificación. Personalmente, no me parece mal: si bien no tenemos prototipos que nos ayuden a buscar, tampoco nos pueden limitar.

### Características innatas

Probablemente la característica hereditaria más pertinente en un futuro investigador científico sea la que menos se menciona: la clase social en que nace. En el tercio de argentinos que son analfabetos funcionales debe haber tantos científicos en potencia

como entre el resto, pero sus carreras como tales ya acabaron cuando dejaron la escuela primaria, o tal vez mucho antes de entrar. La razones para que hayan tan pocos hijos de obreros entre los futuros científicos argentinos son tanto económicos como culturales. Siguiendo la tradición, yo tampoco discutiré ahora este tema.

### Cherchez la femme! La femme?

Uno podría pensar que la característica más relevante de un científico es la inteligencia. Los científicos son genios, dice la sabiduría popular. Analistas más perceptivos la han situado a la altura del corazón: la clave es la voluntad, dice Ramón y Cajal. Sin embargo, la preocupación popular apunta más bajo. A juzgar por las preguntas que me hace la gente, la característica innata más importante de alguien que quiera hacer ciencia es el sexo.

Esta preocupación no es sólo local. Hay una polémica global en curso sobre lo poco representadas que están las mujeres en la ciencia (ref. 1). El porcentaje de mujeres en diferentes academias de ciencias, como expresión de la culminación de una carrera exitosa, varía entre el 2 y el 4 %. En la del Japón no hay ni una sola. Mientras preparaba esta charla he elegido el tomo G-N del *Who is who in science in Europe*, y he censado a los inscriptos durante cinco minutos: dos mujeres contra 155 hombres. No he contado nombres como Siepke o Erkki, que no me dicen nada, no Carmel Frances, que me dice dos cosas.

Entre los norteamericanos que terminan un doctorado en Física, sólo hay un diez por ciento de mujeres (ref. 2). La proporción es la misma entre los estudiantes del Instituto Balseiro de Bariloche, una mujer por cada diez.

Es fácil achacar esta diferencia a poco interés femenino en esas carreras, pero esta explicación pierde validez ante otro dato: el 20% de los postulantes a ingresar al Ins-

tituto son mujeres. Quiere decir que, enfrentadas a una prueba de selección, sus probabilidades de éxito son la mitad de las de los hombres.

El exámen de selección para entrar a nuestro instituto se compone de una prueba de conocimientos científicos, y una entrevista personal con los candidatos que pasan la primera parte. El rendimiento mermado de las mujeres no se debía a la misoginia del comité de selección: cualquier subgrupo de varones con notas en la prueba inicial equivalentes a las de las mujeres tenía iguales probabilidades de ingresar (ref. 3). Si se descarta la hipótesis de que la prueba científica a través de los años estuviese discriminando contra las mujeres, hay que aceptar que éstas estaban peor preparadas que sus compañeros para afrontarla.

No creo que fuesen menos capaces como grupo, ya que su rendimiento en la parte de Matemáticas de la prueba era tan bueno como el de ellos (ref. 3), y se acepta generalmente que esta ciencia representa el razonamiento abstracto más puro. No, estas estudiantes estaban peor preparadas que el promedio. No es de asombrarse: la sociedad que se admira de que una muchacha pueda y quiera estudiar Física seguramente le está mandando, a través de innumerables canales, un mensaje claro: *hay platos que lavar*. No creo que podamos lograr que un tercio de los físicos argentinos sean físicas por ley, pero claramente tenemos mucho que hacer el tema. Como están las cosas en este tema, la Argentina desperdicia el talento de la mitad de su población.

Debo agregar, aunque no haga falta, que nunca he visto que el trabajo de una de mis estudiantes o colegas femeninas sea diferente, y mucho menos inferior, al de los hombres. En lo que a los estudios se refiere, mi impresión está apoyada por números. A lo largo de su historia, del IB se han graduado, de licenciados en Física o Ingenieros Nucleares, 514 personas. De ellos, 50 eran mujeres: el porcentaje es el mismo

que al ingreso, lo que significa que la tasa de deserción, motivada en gran parte por falta de capacidad, es pareja para mujeres y hombres. Este rendimiento de nuestras colegas es admirable, pues deben afrontar trabas que no se nos presetan a los hombres. De cualquier manera, lo que menos necesitan es nuestra admiración, sino que nos dejemos de ponerles piedras en el camino.

Aparte de la clase social, en la cual podemos englobar la nacionalidad, que importa y mucho -un chico dinamarqués desarrollará sus dotes científicos con mayor probabilidad que uno afgano- y del sexo, no conozco otras características que pueda llamar innatas sin reservas. Pasemos a las otras.

### Características no innatas

La inteligencia, que tampoco se puede definir de manera precisa, parece estar determinada por una combinación de factores genéticos y culturales cuyo peso cambia con la colaboración política del que la mide. Esta facultad se asocia generalmente con los científicos, pero se tiende a sobreestimar su importancia. No quisiera ofender a nadie, pero muchos de mis colegas no son más brillantes que yo. Todos hemos visto casos en que la rapidez intelectual se convierte en la peor enemiga de un aprendiz de científico, brindando escapes ingeniosos y superficiales en situaciones que, como todas las científicas, demandan profundidad.

Lo realmente importante es qué se hace con la inteligencia, suponiendo que se disponga de un mínimo aceptable. Schopenhauer comparó al intelecto con un tullido de vista aguda que un ciego fortachón lleva sobre sus hombros. El intelecto marca el camino, y si deja de hacerlo ambos se pierden, pero es el ciego, la voluntad, el que camina. No es casual que cuando Santiago Ramón y Cajal escribió un libro con consejos para jóvenes que aspiran a ser científicos, lo

llamó "Los tónicos de la voluntad" (ref. 4). en sus palabras, "cabía afirmar que el trabajo sustituye al talento o, mejor dicho, crea el talento".

Mientras preparaba esta charla, les he preguntado a muchos de mis colegas cuál sería la característica de un niño que podría marcarlo como un futuro científico. No creo recordar que ninguno haya mencionado la inteligencia, pero todos acentuaron la curiosidad como condición necesaria.

Es sabido que la curiosidad se enseña, es fácil estimular a los niños para que sean inquisitivos y vivaces ante el mundo exterior. Todavía más fácil es enseñarles lo contrario, basta con prenderles el televisor y dejarlos con los ritmos que a diferentes horas del día entrenan los "espíritus burlones y almas quietas" de que hablaba Machado.

Sea como sea que lleguen a tener sus características personales, heredadas o adquiridas, o en una combinación compleja, parecen haber ciertos rasgos de personalidad que los científicos comparten como grupo (ref. 5). Algunos de ello son:

- confianza en sí mismo;
- habilidad para pensar críticamente;
- alto nivel de curiosidad general;
- independencia;
- confiabilidad;
- inconformismo;
- escepticismo;
- tendencia a asumir riesgos.

Estos rasgos no están listado en ningún orden particular. He dejado de lado algunas características menos simpáticas, como la tendencia a la soledad o la relativa indeferencia a las relaciones personales íntimas, que también parecen ser propias de la clase científica. No puedo opinar sobre la validez estadística del estudio que llega a estas

conclusiones, pero esas características son por lo menos las que uno desearía ver en un científico. Además, o tal vez como consecuencia, debería ser creativo.

### La creatividad

Se dice que cuatro factores son necesarios para una carrera exitosa en la ciencia: conocimientos, destreza técnica, comunicación y creatividad. Muchos se las arreglan con los tres primeros, y con su habilidad y cuidado hacen contribuciones de valor a sus disciplinas, pero es cierto que la creatividad es una de las características más deseables en un científico, aunque tampoco sabe definirla nadie (ref. 6).

La *creatividad* es un concepto joven. Parece haber sido usado por primera vez alrededor de 1875, aplicado a la imaginación poética. Su extensión a actividades fuera del campo de las artes es aún más reciente. Según el psicólogo J. P. Guilford, la creatividad comprende "las habilidades ... características de personas creativas ..., que incluyen actividades como inventar, diseñar, idear, componer, y planear. Los individuos que exhiben estos tipos de comportamiento de manera marcada son reconocidos como creativos." Como definición, no es gran cosa. Otros investigadores en este tema han tratado de definir la creatividad por sus frutos, diciendo que creativa es la persona cuyo trabajo es tanto original como significativo.

Los filósofos de la ciencia tienden a concentrarse en los aspectos formales y epistemológicos: se suele hablar de la generación de nuevas ideas pero no se dice de dónde hay que sacarlas.

"Un día de estos tengo una idea original y me hago famoso." (Felipito)

La elección de un problema para investigar es importante. Los científicos suelen destacarse más que por sus habilidades técnicas,

porque eligen problemas interesantes. A mi juicio, el nuevo premio Nobel de Física, Pierre de Gennes, es un ejemplo cabal de este don.

Un filósofo alemán del siglo pasado relataba el caso de dos caballeros chinos que, en una corta visita a Europa, fueron llevados a la Opera. Uno de ellos se concentró en la obra, tratando de entender el argumento, cantado en un idioma que desconocía, sus detalles psicológicos, y la manera en que el compositor había expresado todo esto en su música. El otro chino, más modesto, pidió ser llevado atrás de las bambalinas, y ahí se pasó toda la función observando cómo funcionaba el sistema de contrapesos que movía el telón. ¿Quién les parece a Uds. que se llevó algo de vuelta a la China?, preguntaba el relator.

Peter Medawar, que ganó el premio Nobel de medicina en 1960, se refirió a la ciencia como "el arte de lo soluble". Según él, el rédito esperado de un problema es el producto del rédito si se resuelve, por la probabilidad de que efectivamente se resuelva. En función de la dificultad del problema el rédito crece, la probabilidad decrece, y su producto, el rédito probable o esperado, debe tener un máximo por el medio. Los problemas fáciles no traen la gloria que Ramón y Cajal juzgaba tan importante, los muy difíciles no la traerán en nuestra vida. Queda en el medio una franja de problemas rentables y solubles en plazos finitos. En esta "zona de Medawar", es donde hay que buscar los problemas que valen la pena. Hace poco dieron una película, *La sociedad de los poetas muertos*, en la cual Robins Williams les ordena a sus alumnos que arranquen y tiren a la basura una hoja del manual que trae una fórmula para hallar la belleza de un poema mediante una simple integración. La receta de Medawar para encontrar su zona suena igual de espantosa, pero él sabía de qué estaba hablando, por eso habló del arte de lo soluble. Sabía perfectamente que no existe manera de calcular ninguno de los dos factores que entran

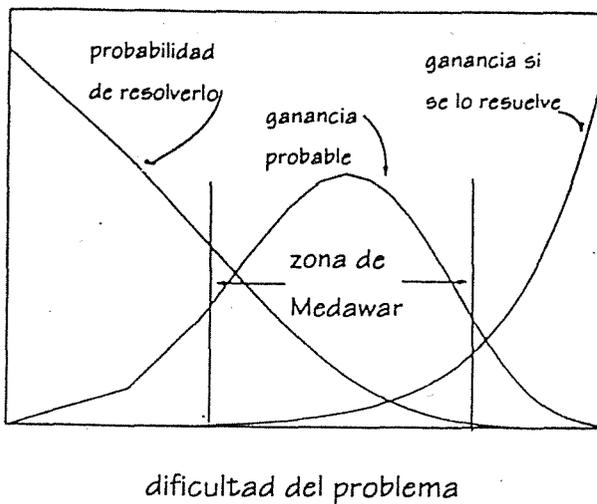


Figura 1:

en la expresión, y que ambos cambian día a día. El valor que la sociedad -científica o en general- acuerda a una idea depende de la época, y un descubrimiento puede ser despreciado durante años hasta que cambien las necesidades o gustos. Por ejemplo, los resultados de Gregor Mendel sobre las leyes de la herencia es proverbial. Por el otro lado, la dificultad de un problema puede cambiar revolucionariamente según crecen la ciencia o la técnica: la turbulencia está comenzando a ser tratada ahora, con la ayuda de computadoras cada vez más poderosas. Durante años su dificultad la condenó al ostracismo científico, y no se la mencionaba. El caos, un nuevo campo de la Física, no solamente era innombrable, era también tan impensable que la solución nació antes que el problema.

Si es tan difícil encontrar la zona de Medawar, no es de extrañarse que las personas que saben cómo hallarla, los científicos formados, sean raros. Por supuesto, no todos los problemas planteados por buenos científicos se resuelven: también ellos se equivocan. Pero como dice Loehle en su artículo (ref. 6), "lo notable en estas per-

sonas es que aún cuando se equivocan, se equivocan de una manera interesante y sobre un tema interesante".

Existen pruebas para detectar la creatividad, pero debo decir que no me inspiran demasiada confianza. Se basan en ver si los encuestados pueden encontrar soluciones originales a problemas que no son originales: el examinador aprende algún truco de memoria, y en general le asigna un alto puntaje al candidato que lo contesta bien porque también lo conocía. Esto es natural, el examinador no quiere reconocer que el problema ya es del dominio público. En mi opinión, un examen no es la ocasión para averiguar la creatividad de nadie. Es probable que una persona responda mejor, pero una con buena memoria también lo hará.

### Algunas barreras a la creatividad

Lo que es fácil es detectar algunas de las barreras a la creatividad. El conocimiento previo es una, lo que Ramón y Cajal llama la "admiración excesiva a los grandes iniciadores científicos". El sentimiento de que todo está hecho, y mejor de lo que uno podría hacerlo, paraliza. Es imposible subrayar debidamente lo pernicioso de esta idea.

Este efecto fue muy marcado en toda la Edad Media, con la investigación sobre la naturaleza ahogada por el respecto a la erudición y brillantez de Aristóteles. En descargo de los escolásticos, hay que recordar que este respeto era impuesto por una estructura política con la cual no se bromeaba, y se veían en una situación semejante a la de los biólogos soviéticos cuando el estalinismo adoptó como doctrina oficial las teorías genéticas de Lisenko.

De cualquier manera, si se puede elegir, Ramón y Cajal sabía qué hacer. Según el asturiano, "defecto por defecto, preferible es la arrogancia al apocamiento: la osadía mide sus fuerzas y vence o es vencida; pero

la modestia excesiva huye de la batalla y se condena a vergonzosa inacción". Creo que todos mis colegas estarán de acuerdo: los referís de las revistas especializadas siempre pueden rechazar un artículo si quieren, pero si uno no trata...

Es fácil entender los miedos y reservas de personas sometidas a despotismos oscurantistas, y los argentinos deberíamos ser especialmente humildes al tratar el tema, pero es más difícil comprender por qué los descubridores portugueses de comienzo del Siglo XV se negaban a virar el cabo Bojador, o por qué hasta principios de 1987 mis colegas no creían en superconductores con temperaturas críticas de más de unos 25 kelvin. Sin querer restar méritos a la Inquisición o al KGB, es un hecho que la mayor parte de las barreras a la creatividad parecen ser mentales, y una vez que caen uno se pregunta cómo pudieron ser tomadas en serio durante tanto tiempo. Las barreras son limitaciones implícitas al espacio de las soluciones; removerlas para ampliar este espacio requiere lo que Edward de Bono llama *pensamiento lateral* (ref. 7). Los ejemplos de este pensamiento lateral son innumerables en la ciencia, y los rieles que encauzaban el pensamiento antes del salto son también de diversas clases.

Por ejemplo, la geometría euclidiana se identificaba de manera concreta y palpable con la realidad de nuestro mundo sensorio. Al romper la barrera de lo concreto Riemann abrió las puertas a otras geometrías no-euclidianas.

La barrera de la heterogeneidad es aparente en nuestro mundo, y la idea de Newton de identificar la caída de una manzana -no importa cuán apócrifa- con la de la Luna es una simplificación cuyo poder de síntesis transformó el mundo. De hecho, el pensar por primera vez en la historia de la humanidad que la Luna se está cayendo es, a mi juicio, un ejemplo asombroso de dos saltos sucesivos laterales. Primero hay que preguntarse *por qué* no se cae la Luna, y luego

ver que *sí* se está cayendo.

Muchos físicos, tal vez todos, ven las soluciones de sus problemas, antes de sacarlas de sus ecuaciones. No sé qué pasa en otras ciencias, pero por lo menos algunos biólogos parecen hacer lo mismo (ref. 8). La imposibilidad de visualizar un problema parece ser una barrera. Fue necesario ver las secciones de Poincaré de las órbitas de atractores extraños en el espacio de las fases para notar que había orden y regularidad en los fenómenos turbulentos. Los llamados "diagramas de Feynman" permiten visualizar múltiples interacciones de partículas.

La capacidad de transformar flujos unidimensionales de información en mapas bidimensionales ha sido considerada como parte importante de la capacidad de un científico. Tal vez el ejemplo más claro del valor de esta facultad lo dio Mendeleev, con su tabla periódica de los elementos. Este mapa bidimensional -los elementos de transición harían aconsejable agregarle cotas de altura -ha reportado más ganancias para la humanidad que todos los que marcan tesoros con una X en islas tropicales.

### El conocimiento

El primer factor mencionado arriba en la receta para hacer un científico es el conocimiento. Es común pensar que el conocimiento aumenta linealmente con el tiempo de instrucción: a la mitad del libro, sabemos la mitad, y al terminarlo sabemos todo.

Durante años, analizando como yo mismo aprendía, pensé que el proceso se parecía más bien a un viaje a través de la Patagonia, desde la costa atlántica hasta Bariloche, con subidas empinadas seguidas de trechos planos. Parte del arte de aprender es soportar estos periodos chatos, sabiendo que son parte de la subida general.

Los sicólogos sociales tienen una imagen mejor, que creo que es de Pichon Rivière:

una espiral, en la cual se alternan fases de rápido avance con descensos a la ignorancia. Pero la espiral no se toca a sí misma, y lo que podemos llamar ignorancia en el punto más bajo de cada vuelta es en realidad un nuevo estado desde el cual se puede reorganizar el conocimiento y aprenderlo mejor.

### Conocimiento transmitido

Las dos primeras imágenes son compatibles con un modelo en el cual el conocimiento es algo que se transmite. En la primera, la única característica que importa en el receptor es la velocidad de transmisión que es capaz de aceptar. En la segunda ya hay que asignarle al receptor algún buffer que puede llegar a saturarse y detener la transmisión.

En la época del imperio británico se decía que la manera de hacerse entender por un nativo -no de las islas británicas, por supuesto, que no lo eran- era hablarle lento y fuerte en Inglés. Este es exactamente el método que usamos hoy en día para enseñar Física, y no me extrañaría que también otras ciencias. Es, de hecho, el único que permite el modelo de transmisión del conocimiento.

Prácticamente toda la estructura educacional, con sus exámenes por materias, y parciales en cada una, se basa en un modelo lineal de transmisión.

Este modelo está fuertemente influido por el medio de información que cambió a Europa desde el Renacimiento hasta ahora: el libro impreso.

Todos sabemos que el modelo es falso. Los físicos recién recibidos compiten por ser ayudantes en las materias que más les interesan, pues dicen que una materia se aprende recién como ayudante. A mí me parece que no basta con eso, y que hay que ser profesor durante un par de años para aprenderla, pero un físico de fama como John Ziman, autor de tratados muy respetados

sobre Física del Estado Sólido, dice que con eso tampoco es suficiente, que hay que escribir un libro sobre ella. La realidad es más alentadora de lo que suponemos: nunca se aprende una materia.

### Conocimiento construido

En los últimos años ha surgido un modelo según el cual el conocimiento no es recibido por un alumno, sino que tiene que construirlo. Es este proceso de construcción, activo y trabajoso, el que lleva tiempo e intentos repetidos. Es un proceso de borrones y cuentas nuevas, que dista mucho de ser lineal. La espiral podría muy bien ser el camino recorrido.

Así como no es lineal, tampoco es este proceso puramente intelectual. De Montesquieu dijo que raramente llega un hombre a la razón por la razón. Si el que aprende tiene que construir su conocimiento, no hay lugar para la pasividad. Tanto o más necesarios que la inteligencia son el entusiasmo, la voluntad, la alegría y, lo que es muy importante, muchas veces el enojo y la ira. Son necesarios fracasos, decepciones y desesperación.

Los canales para experimentar todo esto tampoco son puramente síquicos. Piotr Kapitza, un pionero de la Física de Bajas Temperaturas, insitía en que la Física se aprende con las manos; los indios Hopi creen que sólo los locos piensan con la cabeza. En mi experiencia, ambos tienen mucha razón.

### Resultados del modelo de transmisión

Si el modelo de transmisión es falso, y lo es, entonces el transmisor, y sus procedimientos, están fuera de lugar. Creo que era Escardó que dijo que la clase magistral es un evento en el cual el contenido de los apuntes del profesor pasa a los apuntes del alumno, sin tocar el cerebro de ninguno.

Los libros, por supuesto, son el ejemplo de este modelo lineal. Los estudiantes no-

tan que sus propios procesos de aprendizaje carecen de la limpieza y direccionalidad cartesianas que muestran sus libros como la única manera válida de avanzar en el conocimiento, y se desorientan. Los artículos originales de investigación no son mucho mejores: como decía Medawar, en ellos contamos los resultados de nuestra investigación, mientras borramos con cuidado muestra huellas de cómo llegamos. Pero los artículos están más cerca de la trinchera, y al leerlos es mayor la probabilidad de que se presenten críticas. Con ellas es posible que el estudiante cuestione la palabra escrita, y con suerte llegará a leer aún los libros mejor impresos con una sana desconfianza. Nunca es demasiado temprano para que los estudiantes lean artículos originales.

La única manera de hacer ver a los estudiantes que los libros podrán representar lo que se sabe, pero no cómo se llegó a ello, es que los que enseñan tengan experiencia. Es como tratar de formar directores de cine dejándolos en manos de un operador de cine que les hace películas. La conclusión inescapable es que los que enseñan a futuros investigadores deben ser científicos en actividad.

### La alegría de no saber

Mientras estos cambios no se lleven a cabo, el sistema tradicional seguirá produciendo alumnos verbalistas, condicionados a responder las preguntas standard con las respuestas aprobadas. Tal vez el problema mayor al tratar de transformar a los egresados del sistema en científicos es enseñarles a decir "no sé". Esta frase representa el pecado capital para el alumno receptor, la humillación y el castigo. Para el investigador, en cambio, el "no sé" indica la presencia de un agujero en la barrera de lo obvio y familiar, tiene el sonido de la oportunidad. Aprender a decir que no se sabe es tal vez el primer paso, y ese no lo enseña el sistema.

### Ayudas para construirlo

Más que profesores en el sentido tradicional necesitamos personas que ayuden al estudiante en el proceso de construir el conocimiento. Estas personas son conocidas como mentores, y son los mediadores del conocimiento en otros ámbitos y culturas. La importancia de la relación mentor-alumno en fomentar la creatividad es conocida, y ha sido documentada en muchos casos (ref. 9).

Al llegar a este punto, se presenta la objeción de que eso será posible en otros campos, pero que dados los números de alumnos actuales, tenemos que usar métodos masivos. No me convence. Consideremos el caso de la Física en nuestro país: se producen alrededor de treinta licenciados por año, y deben haber unos 300 físicos haciendo investigación. No hay ninguna razón para no producirlos con calidad artesanal, y sin embargo aquí estamos, usando los métodos de Henry Ford, a quien sólo le interesaba la cantidad y el bajo precio.

En realidad, en las carreras científicas se da la relación mentor-alumno, por lo menos en la última parte, en la investigación para una tesis final. En esta fase, los estudiantes suelen transformarse, y muestran el entusiasmo y seriedad que no eran aparentes en sus años en las aulas. Una manera simple de aumentar este efecto beneficioso es extender la investigación a años anteriores. Varios colleges norteamericanos están haciendo esto, y las universidades inglesas de Sussex y Essex ofrecen alternativas de investigación para los estudiantes de Química. Los resultados parecen ser muy alentadores (ref. 9).

### Destreza técnica

Este es un campo en que por suerte nadie cree en un modelo de simple transmisión: las habilidades y destrezas que debe adquirir el estudiante exigen una actitud activa

de su parte, y requieren que se le de tiempo para probar y equivocarse solo. Muchos de los cursos que se dictan en las universidades pretenden desarrollar ciertas destrezas al tiempo que imparten conocimientos, y es esta mezcla de objetivos lo que los salva, sin mayor mérito de los docentes.

Pero también en el entrenamiento en las habilidades técnicas nos comportamos ciegamente. Frederik Reif es miembro de los departamentos de Física y de Ciencias de la Educación en la Universidad de California en Berkeley. Su libro de introducción a la Matemática Estadística está basado en el principio de construcción en espiral del conocimiento, y trata de abandonar el esquema lineal. Reif ha investigado cómo hacen los científicos para resolver problemas, y cómo lo tratan de hacer los estudiantes (ref. 10). Ambos procesos son radicalmente diferentes: mientras el principiante usa razonamientos lineales, basados en ecuaciones matemáticas, el experto razona jerárquicamente y de manera cualitativa. Pero el docente casi nunca le explica al estudiante que existen herramientas tan poderosas porque él mismo las aplica sin analizarlas.

Es claro que las planchas de problemas usuales en las cuales solamente hay que aplicar la fórmula aprendida en el capítulo anterior no sirven para desarrollar ninguna habilidad útil para un científico.

### La comunicación

La ciencia es un fenómeno social, y el conocimiento que genera sólo se empieza a contar desde el momento en que se transmite. Esto es literalmente cierto: la fecha legal de un descubrimiento es aquella en que el manuscrito del artículo que lo cuenta llega a la revista.

La habilidad para contar un descubrimiento científico es imprescindible, pero no se la enseña, y el estudiante debe adquirirla como mejor pueda.

El problema no es comunicar resultados científicos. Los detalles rituales de la prosa académica se aprenden rápidamente. El problema para nuestros estudiantes es simplemente comunicarse por escrito. Esta es una habilidad que deberían haber adquirido al terminar el secundario, pero que prácticamente no existe.

A mi juicio, ésta es tal vez la habilidad más importante que podría enseñar la escuela media: escribir bien. Si alguien escribe bien, piensa bien, y la Matemática o la Física son detalles fáciles de aprender.

La ciencia es un fenómeno social a escala global, y la comunicación debe adecuarse a este hecho. La manifestación más aparente de esta universidad es que el Inglés es la lengua franca de la ciencia. En este idioma se publican el 85% de los resultados científicos de todo el mundo. Solamente un 0,8% de la investigación mundial ve la luz en Castellano, y su impacto específico es un quinto del de cada artículo en Inglés (ref. 11). Es imprescindible que los científicos jóvenes dominen este idioma, aparte del propio. No ayudarlos en esto es condenarlos a un provincialismo científico que arruinará sus carreras.

### Nuestro sistema educativo

He discutido ya las características que hacen a un científico, y cómo el sistema de educación europeo que se asocia con la ciencia trata de desarrollarlas. A mi juicio, lo hace mal, y los resultados confirman la ocurrencia de Gibbon de que la educación es fructífera solamente en aquellos casos en que es superflua. Esto se aplica a todo el mundo. Pero esta reunión ha sido convocada, si no me equivoco, por gente joven que quiere cambiar algo en nuestra propia patria. Bien, vamos a nuestro país.

¿Cómo se desempeña la Argentina en la formación de científicos? ¿Cómo estamos preparando a los científicos nuevos en nuestro país?

Alguien dijo que al ver a un perro amaestrado que camina en dos patas, el lego piensa que hace mal, mientras que el experto lo asombra el mero hecho de que lo haga.

A pesar de que veo a diario excelentes físicos jóvenes argentinos -repito que no puedo hablar sobre otros campos- pienso que sus virtudes son más las de sobrevivientes que de productos de un sistema. Son los que, según Gibbon, no necesitaban el sistema de enseñanza. Entre estos sobrevivientes debo contar a muchos profesores que mantienen



Figura 2:

vivos los ideales de la ciencia en un ambiente que los ignora.

Cualquier apreciación sobre la enseñanza científica en nuestro país corre el riesgo de ser injusta, tan heterogéneas son las instituciones que la imparten (ref. 12). Eso nos da la salida de pensar, como siempre, que el sayo es para el vecino.

Por supuesto, todas las críticas que he hecho más arriba sobre el sistema mundial se aplican acá, y se pueden agregar algunas otras.

Uno de los problemas argentinos es la ignorancia oronda y satisfecha, y tenemos

que reconocer que los claustros universitarios, aunque nos pese, no están exentos de ella. Si los profesores estuviesen activos en la investigación, tendrían el control y el estímulo de toda la comunidad científica apoyándolas. Un concurso con un jurado internacional estaría eligiendo continuamente a nuestros docentes. Esto se ve claramente en las instituciones que investigan. Pero en las que no lo hacen, rápidamente se pierde no sólo la actualización, sino lo más importante, el espíritu, la venta en la cual es necesario entrenar a los científicos. Es necesario investigar en las universidades, para lo cual se deben nombrar profesores buenos con dedicación exclusiva.

No he mencionado hasta ahora los planes de estudio, o los contenidos que siempre asoman cuando se discute el estado de la educación. Creo que no vale la pena discutirlos, pues no tiene sentido cambiar los contenidos si no se resuelve primero el problema de capacitación de los docentes. Si se resolviera este problema, los planes y contenidos se transformarían automáticamente.

### Libros de texto

Es cierto que la enseñanza de las ciencias está penosamente desactualizada. Esto se debe a dos factores inmediatos: los libros de texto se escriben cuando una disciplina ya está asentada, digamos cinco a diez años de éxito en sus países de origen. Como consecuencia, en el mejor de los casos nuestros estudiantes usan textos que relatan lo que pasó hace 20 o 30 años. Hay dos maneras de mejorar esta situación. La primera es que nuestros científicos escriban libros de texto en Castellano. El difunto Shang-Keng Ma, un brillante físico teórico, explicó en el prólogo de su texto sobre Mecánica Estadística (ref. 13) por qué había decidido escribirlo en Mandarín, a pesar de que su labor científica la había elaborado en Inglés. Básicamente, pensaba Ma, es necesario que los estudiantes puedan pen-

sar la ciencia en su lengua materna. La segunda manera es la complementaria de esta: los estudiantes deben aprender Inglés y prescindir de las traducciones, que son a menudo ridículamente ineptas, y siempre más caras que los originales. Pero la causa real de esta desactualización no son los libros anticuados, sino los profesores que los eligen. Si no hacen investigación, no pueden saber cuan desactualizados están los libros que recomiendan. Sobre la pobreza de los laboratorios universitarios argentinos mejor no hablar, y no hablaré.

### Cosas que podemos hacer

A pesar de que la situación es difícil, hay cosas que podemos hacer para mejorarla. Las que se me ocurren son esfuerzos a nivel personal o de alcance muy limitado.

Las más simples son las personales. La primera es decir "no sé" cuando no sepa, y tratar de romper la cadena de ignorancia pedante con que atamos a los jóvenes. La otra es tratarnos unos a otros como seres humanos. No, no se hace. Los docentes ignoran a los estudiantes -¿quién no ha visto alumnos esperando 14 horas para que alguien les tome examen, y en vano?- y los estudiantes no saben, y no quieren saber, quien les enseña. Esta anonimidad es aterradora, y es el principal motivo de queja que escucho entre los estudiantes de Física.

A nivel un poco más amplio, los esfuerzos involucran a los alumnos en un plano institucional. Evitar los textos rancios, usar críticamente artículos nuevos, embarcar a los estudiantes -los que quieran, algunos se espantan, y quién los puede culpar- en investigación, son algunos que se pueden probar. También es importante mostrarles los caminos que se les abren más allá de su facultad, y explicarles que no deben lealtad feudal a sus señores. Y a Uds., que hacen todo lo que pueden por ellos, menos que a nadie.

Dice el Tahmud que hay que compadecer

al que atrae la atención de los poderosos, y creo que lo peor que podemos hacer es tratar de involucrar a ministros en los cambios que queremos lograr.

No es necesario pedir permiso para cambiar cosas chicas: el sistema educativo argentino es monolítico en la teoría, pero totalmente amorfo e ineficiente en la práctica. Hay amplísimo lugar para las innovaciones, siempre que no se consulte demasiado a las autoridades.

Tal vez lo que nos preocupa es el efecto sobre los estudiantes: el sistema educativo ha sido pensado como un todo, y si yo me pongo a cambiar mi parte puede ser que haga daños sin querer. No hay problema: de cualquier manera, los estudiantes emergen del sistema ignorando la mayor parte de lo que se les enseñó. Según hemos visto arriba, no podría ser de otra manera, pues el sistema estará hecho para enseñar, pero no para aprender.

Así que si Ud. tiene una idea que pueda hacer que sus estudiantes -no los futuros, sino esos que están ahí- aprendan lo que importa, que tomen contacto con el mundo, que sean más activos y agresivos, póngala en práctica. No espere instrucciones de ninguna autoridad, pues no las hay. Las únicas personas que pueden educar a los futuros científicos somos nosotros. Suerte.

### Referencias Bibliográficas

- *The underrepresentation of women in science*, Current Contents, 42, 5 (Octubre 21, 1991). Ver También: Janice Button-Shafer, *Why so few women?*, Am. J. Phys. 58, 13 (1990); Michael Levin, *Women -why so few?*, Am. J. Phys. 58, 905 (1990); Mary Beth Ruskai, *Are there innate cognitive gender difference? Some comments on the evidence in response to a letter from M. Levin*, Am. J. Phys. 59, 11 (1991); Janice Button-Shafer, *Response to "Women -why so few?"* by Michael Levin, Am. J. Phys. 59, 199 (1991); Bruce Hawkings, *Fewer women than there could be*, Am. J. Phys. 59, 295

- (1991); Steven Goldberg, *Are males better at mathematical reasoning and if so, why? A reply to Ruskai*, Am. J. Phys. 59, 775 (1991) y todos los que seguramente van a seguir.
- ROEMER, ROBERT H., *Editorial: 958 men, 93 women -how many Lise Meitners among those, 865?*, Am. J. Phys. 56, 873 (1958).
  - MARTINEZ E. N. y GORRAIZ, O., *Algunos que afectan el rendimiento en el ingreso al Instituto Balseiro*, Reunión Nacional de Física, Tucumán, 1983.
  - S. RAMÓN Y CAJAL, *Los tónicos de la voluntad*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1946.
  - RUSHTON, J. P., *Scientific creativity; an individual differences perspective*, J. Soc. Biol. Struct. 11, 140 (1988).
  - CRAIG LOEHLE, *A guide to increased creativity in research - inspirations or perspiration?*, BioScience 40(2), 123 (1990).
  - DE BONO, EDWARD, *Lateral Thinking*. Penguin Books, London, 1970.
  - WATSON, J. D., *The double helix*, New American Library, New York, 1968.
  - GARFIELD, EUGENE, *Research an dedicated mentors nourish science carcens at undergraduate institutions*, Current Contents, 33, 3, 17 de Agosto, 1987.
  - REIF, FEDERICK, *Scientific approaches to science education*, Physics Today, 48, Noviembre 1986.
  - GARFIELD, EUGENE y WELLJAMS-DOROF, ALFRED, *Languaje use in internacional research: a citation analysis*, Annals of the American Academy of Political and Social Science 511, 10 (1990); reproducido en Current Contents 31, 5, 30 de Julio de 1990.
  - MARTINEZ, E. N. y GORRAIZ, O. *El examen de ingreso al Instituto Balseiro: algunas conclusiones*, III Reunión Nacional de Educación en la Física, Córdoba, 1983.
  - SHANG-KENG MA, *Statistical mechanics*, World Scientific, Singapore, 1985.