

El arte de resolver problemas

José Luis Córdova Frunz*

Resumen

Hay una abundante literatura acerca de los métodos y estrategias de resolución de problemas para diferentes disciplinas. Sin embargo, hay poco escrito acerca de los hábitos cotidianos del sujeto y su relación con las estrategias que emplea para resolver problemas (por no hablar de sus creencias, valores y actitudes). Este ensayo presenta algunas de las prácticas diarias (más algunos principios) que intervienen en el arte de resolver problemas; suponemos que difícilmente podrá resolver un problema quien no ha incorporado las variables de aprendizaje a su quehacer cotidiano. Concluye con algunos comentarios de personas creativas acerca de su proceso de resolución de problemas.

Introducción

Antecedentes

El término “arte” proviene del griego y significa “habilidad, capacidad”. De aquí que “inercia” sea la incapacidad de cambiar el propio estado de movimiento (o de reposo). Elegí el término “arte” como título no sólo por el sentido estético implícito sino, también porque, como en cualquier arte, sólo se pueden dar principios de ejecución, de ningún modo reglas precisas e inflexibles.

Por otro lado, la palabra “problema” viene del griego *pro* que significa “hacia adelante” y *bállein* “arrojar”. Otras palabras afines son “metabolismo” (arrojar más allá), “catabolismo” (arrojar hacia abajo), “parábola” (arrojar a un lado). Sin alejarnos del original sentido etimológico consideraremos “problema” como un “obstáculo”, esto es: algo que detiene la marcha normal de la inteligencia, obliga a detenerse y a considerar cómo eliminar (o rodear) al obstáculo. Y si hay un obstáculo, perdónese la obviedad, es que hay una meta. Pero... las metas del estudiante que se enfrenta a problemas (de tarea, de examen) son muy diferentes a las del profesor o investigador. Luego, las habilidades que pondrá en juego cada quien dependen de las metas, como lo ilustra el siguiente diálogo:

—¿Quieres decirme, por favor, qué camino debo tomar para salir de aquí?

—Eso depende mucho de a dónde quieres ir —respondió el Gato.

—Poco me preocupa a dónde ir —dijo Alicia.

—Entonces, poco importa el camino que tomes —replicó el Gato.

—Con tal que conduzca a alguna parte —añadió Alicia como conclusión.

—¡Oh! Puedes estar segura de que llegarás a alguna parte —dijo el Gato— si caminas lo suficiente.

Alicia en el país de las maravillas

Tal vez desde los orígenes mismos de la humanidad se han buscado soluciones mágicas a los problemas más diversos: contra la tristeza, el nepente; contra las enfermedades, la panacea; contra la vejez, el elixir de la vida eterna, para conseguir amor, el filtro. También ha buscado certezas absolutas y definitivas, como lo revela el proverbio chino: Quien quiere resolver un problema encuentra un camino. Quien no, una excusa.

Y en igual forma se anhelan fórmulas y métodos universales para la resolución de problemas. Es comprensible el deseo de certezas pues permiten la vida social e intelectual aun cuando se basen en convenciones gratuitas. Siendo la escuela una caja de resonancia de los valores, actitudes, organización, etcétera del entorno social es comprensible que la mayoría de los estudiantes compartan la “cosmovisión” dominante de su grupo.

Añadamos a lo dicho que en la escuela la resolución de problemas suele verse como una actividad adicional a las sesiones de exposición; éstas son responsabilidad del maestro, las otras, del ayudante. No hablemos de la ideología detrás de esta división del trabajo. Pero supone dos etapas bien definidas en el aprendizaje: la recepción (en el aula) y la organización (en la sesión de problemas). O bien, el estudio de la teoría, y luego, la aplicación de ésta en problemas. ¡Como si el *entender* no fuera un problema! ¡Como si sólo lo fuera el *aplicar* la teoría!

Esa visión ha llevado a diversas estrategias de aprendizaje: “aprendizaje basado en problemas”, “aprendizaje activo”, “aprendizaje por descubrimiento”, etcétera; estrategias apoyadas en diversas teorías del aprendizaje que, vale recordarlo, tienen

*Departamento de Química, UAM-Iztapalapa. México, D.F.
Teléfono/fax: (55)804-4606.
Correo electrónico: cts@xanum.uam.mx.

alcances y limitaciones como toda teoría científica. Hay, por otro lado, una abundante (aunque no muy diversa) literatura acerca de “Cómo resolver problemas”, “Estrategias de creatividad”, “Enseñanza basada en problemas”, “Desarrollo de habilidades de pensamiento”.

Un problema es siempre una situación novedosa que se desea organizar, estructurar o simplemente olvidar; en consecuencia (perdónese la desmesura) toda la vida es un apasionante (e inevitable) problema. Afirmamos, por tanto, que la resolución de problemas apunta, ni más ni menos, a *hacer más agradable, intensa y placentera la vida*.

“Lo que quiero decir es lo siguiente: que el hombre es como un juguete en la mano de Dios, y que eso, poder ser juego, es precisamente y en verdad lo mejor en él. Por tanto, todo el mundo, hombre o mujer, debe aspirar a ese fin y hacer de los más bellos juegos el verdadero contenido de su vida contrariamente a la opinión que ahora domina. Juego, broma, cultura, afirmamos, son lo más serio para nosotros los hombres.”

Esta frivolidad no la he pensado yo. Son palabras nada menos que de Platón. Y no son escritas al paso sino como anticipación al libro VII de *Las Leyes*.

Ahora bien, la resolución de problemas (guardadas las proporciones) es una investigación, un juego donde no se conoce el desenlace pero se disfruta el mero ejercicio de las facultades junto con la sorpresa y la pasión; por ello debe encararse con ánimo deportivo. Nadie disfruta un juego si no hay entrenamiento ni esfuerzo, ni lo disfruta si conoce el resultado final.

Por ello son sumamente limitadas las propuestas que apuntan únicamente a “un mejor aprendizaje”, o “el éxito en los negocios” o “resolución efectiva y eficiente de problemas”. La principal limitación de tal enfoque está en el peso dado al producto, al resultado y la solución. ¡Se olvida precisamente el placer de la acción y del proceso! No es raro que en un entorno pragmático como el dominante, sólo se atienda a los resultados y que éstos deban lograrse con el menor esfuerzo, con la mayor eficiencia, con la mayor competitividad que permita un posicionamiento dentro de las demandas del mercado laboral y globalizador, bla bla bla.

Y mal hará la escuela al adoptar esta aproximación utilitarista y frívola a la resolución de problemas pues es importante, y no poco, el placer de enfrentarse a un problema, de ponerse a prueba a uno

mismo. Reconozcamos, sin embargo, que quien busca comprender más que aprobar, disfrutar más que repetir, pensar más que aplaudir, está fuera de la norma. La independencia de pensamiento siempre ha sido subversiva, sí, pero también ha sido esencial al pensamiento científico; así lo afirma Don Santiago Ramón y Cajal.

Lejos de abatirse el investigador novicio ante las grandes autoridades de la Ciencia, debe saber que su destino, por ley cruel, pero ineludible, es crecer un poco a costa de la refutación de las mismas. Pocos serán los que, habiendo inaugurado con alguna fortuna sus exploraciones científicas, no se hayan visto obligados a quebrantar y disminuir algo el pedestal de algún ídolo histórico o contemporáneo. A guisa de ejemplos clásicos recordemos a Galileo refutando a Aristóteles en lo tocante a la gravitación; a Copérnico arruinando el sistema del mundo de Ptolomeo; a Lavoisier reduciendo a la nada la concepción de Stahl acerca del [fluido] flogístico; a Virchow refutando la generación espontánea de las células, supuesta por Schwann, Schleiden y Robin. Tan general e imperativa es esta ley, que se acredita en todos los dominios de la Ciencia y alcanza hasta los más humildes investigadores.

[...]

Aun en las ciencias más perfectas nunca deja de encontrarse alguna doctrina exclusivamente mantenida por el principio de autoridad. Demostrar la falsedad de esta concepción, y, a ser posible, refutarla con nuevas investigaciones constituirá siempre un excelente modo de inaugurar la propia obra científica. Importa poco que la reforma sea recibida con malévolas censuras, con pérfidas invectivas, con silencios más crueles aún; como la razón esté de su parte, no tardará el innovador en arrastrar a la juventud, que, por serlo, no tiene pasado que defender; a su lado militarán también todos aquellos sabios imparciales, quienes, en medio del torrente avasallador de la doctrina reinante, supieron conservar sereno el ánimo e independiente el criterio.

Y más lejanas y cercanas son estas reflexiones de Dostoyevsky (1862) acerca de la globalización:

Sí, la Exposición Universal impresiona. Sentí una energía terrible que ha unido allí a todas esas gentes incontables, llegadas de todo el mundo

formando un solo rebaño; reconocéis una idea gigante; sentís que allí se ha conseguido una victoria, un triunfo. Empezáis como a temer algo. Por independientes que fuereis, algo hay que os parece terrible. “¿No será ése ya el ideal logrado? –pensáis– ¿No será ése ya el término? ¿No será ese ya el *rebaño único*? ¿No será llegada, efectivamente, la hora de aceptar esto como la verdad plena y ajustarse a ella definitivamente?”

Un problema intelectual deja de serlo cuando podemos explicarlo y explicárnoslo. Cuando lo entendemos y podemos hacerlo entender. Pero no siempre se ha entendido lo mismo por “entender”. Ni el alumno entiende lo que es “entender” como lo entiende el maestro.

En lo que sigue me referiré sólo a los problemas cuya necesidad es sentida interiormente, esto es, los problemas que producen una comezón intelectual, los que no son impuestos desde fuera, los que recurrentemente aparecen en el campo consciente del sujeto, los que, aun sin haber llegado a “la solución” (supuesto que la haya) producen placer y tensión.

Lo anterior implica “sensibilidad a los problemas” donde “problema” es una categoría muy amplia. Lo mismo se refiere a contradicciones e inconsistencias (p. ej. entre lo ya conocido y lo que se acaba de conocer, entre lo esperado y lo obtenido), como también a discordancias, desarmonías (en sentido estético), a huecos y a explicaciones poco elegantes.

Poincaré, matemático y físico francés (1854-1912) sostenía el carácter estético de la resolución de problemas:

Crear consiste en hacer combinaciones y examinar sólo las útiles, que son una minoría. Inventar es elegir y elegimos las ideas que, directa o indirectamente afectan más profundamente a nuestra sensibilidad emocional. Sorprenderá ver invocada la sensibilidad a propósito de demostraciones matemáticas que, al parecer sólo importan al intelecto. Pero es olvidar el sentimiento de belleza matemática, la armonía de números y formas, la elegancia geométrica. Hay un verdadero sentimiento estético que todo matemático conoce y, sin duda, pertenece al dominio de la sensibilidad emocional.

Parece perogrullada decir que el elemento afectivo es esencial para el descubrimiento. Tanto como decir que ningún descubrimiento significativo puede ocurrir sin deseo de lograrlo.

Sea profesor, investigador o alumno las habilidades puestas en juego son fundamentalmente las mismas (caso que sean metas intelectuales y no promocionales):

1. curiosidad
2. imaginación
3. perseverancia
4. espíritu lúdico
5. manejo de códigos, de lenguajes
6. dominio de automatismos
7. narcisismo
8. memoria

De ellas trataremos más adelante. La resolución de problemas lleva a una sensación de logro, de satisfacción, placer, resultado de la búsqueda de orden y estructura donde no la había (al menos para uno). Tal sensación aumenta la autoestima y la conciencia de sí.

A semejanza del placer que proporciona el ejercicio físico *per se*, o de la música (“El canto que canta la garganta es el premio más cabal para el que canta” decía Machado), el ejercicio de la inteligencia es placentero. Por ello, es tentador proponer que una actividad tan placentera como ésta sea inhibida por los grupos de poder pues libera a la persona y le da juicio, le da independencia. Pero no lo haré; ya lo han hecho Rousseau, Pestalozzi, Lichtenberg y más recientemente Chomsky.

Hay diferentes estudios, p. ej. los de Robert Merton y Max Weber, acerca de la influencia de la matriz cultural en los valores, actitudes y hábitos de las personas. Ciertamente nuestras raíces han influido en las instituciones educativas que, a querer o no, propician la obediencia en lugar de la crítica, la resignación en lugar de la superación, la simulación en lugar de la honestidad, la memorización en lugar de la comprensión.

Hay, repetimos, una fuerte condicionante para el desarrollo de la inteligencia, por el contexto cultural y social. Y otra más por los hábitos que uno mismo tiene; hábitos que son respuesta adaptativa al contexto. Paradójicamente, la inteligencia se ve constreñida por los avances tecnológicos pues la tecnología que usamos responde al modelo de vida occidental: resultados inmediatos, mayor ganancia, menor esfuerzo; en consecuencia, el aprendizaje, que no es ni instantáneo, ni confortable, ni lucrativo, será objeto de poca atención.

Obstáculos

Como concluirá el lector, los hábitos negativos forman parte de los obstáculos internos para el aprendizaje, y siempre que uno resuelve un problema, aprende. Pero también hay obstáculos de tipo intelectual; la literatura especializada los nombra obstáculos epistemológicos, prenociones, concepciones alternativas, ideas previas, etcétera.

Uno muy conocido es el *paradigma*; significa al conjunto de teorías, métodos y problemas válidos para una comunidad científica. El paradigma define cuáles son los problemas interesantes, cuáles son los procedimientos válidos y, por supuesto, cuáles son las instituciones (y personajes) que definen lo anterior en caso de duda.

Podemos extrapolar la noción de paradigma a quien enfrenta un problema, pongamos por caso, un estudiante de ciencias. Cada uno tiene sus materias favoritas, sus procedimientos predilectos, sus métodos de verificación usuales; todo eso constituye el paradigma del estudiante, posiblemente un paradigma para cada curso.

Un ejemplo de paradigma:

El principio de inercia fue formulado por Galileo en 1600. Sin embargo, para los chinos del 600 a.n.e. el que “un cuerpo en movimiento se mantiene en movimiento hasta que algo lo detenga” era “tan obvio como que un caballo es un caballo”.

Lo podemos entender en términos del paradigma oriental del Yin-Yang; según éste, lo natural es *el movimiento* y, en consecuencia, lo que requiere explicación es *el reposo*. Para la filosofía griega, por el contrario, lo natural es *el reposo* y, en consecuencia, lo que necesita explicación es *el movimiento*.

Cuando Planck propuso en 1895 la hipótesis cuántica consideraba “artificio de cálculo” el que la energía sólo tuviera valores discretos. Lo “normal” era considerar que la energía podía tomar *cualquier* valor. Vayamos más atrás, cuando Andrea Osiander presentó en 1544 el libro de Copérnico *De Revolutionibus orbium coelestiuma, libri VI*, afirmaba: “El sistema heliocéntrico es un simple artificio matemático; no es necesario que esta hipótesis sea verdad, ni siquiera verosímil, basta que se preste a un cálculo que resulte consistente con las observaciones”. Ni los estudiantes ni los científicos están a salvo de “lo natural”, esto es, de “lo que no necesita explicaciones, simplemente es así”.

Quien enfrenta a un problema, como quedó dicho antes, se enfrenta a una situación novedosa sí, pero no es totalmente novedosa. Y tiene algunos

antecedentes que influyen en la resolución; quizás el más importante es el método de estudio ya que refuerza unos hábitos de trabajo y pasa por alto otros enfoques, otras facultades.

El método de estudio ¿primer problema por resolver?

La resolución de problemas depende tanto de acciones como de ideas. Y son las acciones las que llevarán a asimilar los procedimientos al extremo de que sean tan automáticos que le parezcan “naturales” al sujeto. Sólo entonces podrá dedicar su atención a otros aspectos del problema. A continuación enlistamos algunos automatismos básicos.

Escribir

Puesto que la velocidad de la escritura, como la del habla, es menor que la del pensamiento obligamos a la mente a sujetar el tema. Es casi imposible divagar cuando escribimos.

Escribir obliga a atender, ordenar y resumir. Es un excelente ejercicio escribir las dificultades, las primeras interpretaciones, las conclusiones. No es lo mismo *pensar* que *pensar escribiendo*, o pensar *dialogando*. Más adelante presentaremos las ideas de L. Carroll al respecto.

Mapas conceptuales

Todas las ciencias, como todo conocimiento, implican una clasificación. La ventaja de estos diagramas es que indican cuáles conceptos son los más importantes por su posición y por el número de flechas que los relacionan con otros. Una forma de elaborarlos es comenzar con una lista de los conceptos relacionados con el tema. Por ejemplo, para “aprendizaje” un alumno propuso 23 variables:

1. Tiempo, 2. Gusto, 3. Objetivos, 4. Práctica, 5. Memoria, 6. Ambiente, 7. Disciplina, 8. Dedicación, 9. Escuchar, 10. Actitud, 11. Método, 12. Humor, 13. Constancia, 14. Comprensión, 15. Maestros, 16. Bibliografía, 17. Imaginación, 18. Esfuerzo, 19. Inventiva, 20. Autoestima, 21. Espíritu deportivo, 22. Emoción, 23. Paciencia .

Las siguientes consideraciones son obvias, pero importantes y desatendidas:

- Conviene agrupar los conceptos muy afines. En este caso: {17. Imaginación, 19. Inventiva}; {7. Disciplina, 8. Dedicación, 13. Constancia, 18. Esfuerzo, 23. Paciencia}.
- Conviene ampliar los conceptos que incluyen a otros o que se prestan a diversas interpretaciones.

Por ejemplo: 10. Actitud, 15. Maestros, 4. Ambiente. Quizá sea más preciso sustituir (10). por “motivación”. En el punto 15 queda la duda ¿es mejor un maestro accesible que uno experto pero pesado? Al ampliar estos conceptos es muy posible que deba hacerse otro mapa conceptual. Debe aclararse que no existe “el mapa conceptual” de un tema. Estas representaciones son sólo un instrumento para descubrir y precisar relaciones. Puesto que el conocimiento del sujeto no es algo estático es muy posible que el mismo sujeto haga mapas muy diferentes para el mismo tema. Si esto ocurre en momentos muy cercanos es señal de que no hay claridad en los conceptos. Si ocurre con un intervalo de meses es más bien muestra de cambio conceptual.

- Las relaciones de necesidad se indican con una flecha. Así $A \rightarrow B$ indica A es necesario para B . Por ejemplo 1. Tiempo \rightarrow Escuchar. Hay casos, como en 4. Práctica y 5. Memoria que puede usarse una doble flecha (“la práctica es necesaria para la memoria”, “la memoria es necesaria para la práctica”). Estas situaciones pueden resolverse precisando los términos ¿qué se quiere decir con práctica?, ¿resolución de problemas?, ¿estudio diario?, ¿aplicación de conceptos?, ¿búsqueda de ejemplos? Si no puede hacerse tal cosa, los términos son tan afines que pueden emplearse indistintamente.

Escuchar

La diferencia entre oír y escuchar radica en que el escuchar implica organizar la información. En la sección anterior presentamos la posibilidad de organizar en términos de la relación “necesidad”. ¡Pero es sólo una de las muchas formas de relación!

Un estribillo muy frecuente es “No hay duda de que A y B están relacionadas de *alguna manera*” (expresión usual entre psicólogos, sociólogos y semejantes). Lo difícil es establecer con precisión de qué manera están relacionadas A y B .

Igual que al leer, al escuchar uno recibe la información secuencialmente (cosa que no ocurre en los diagramas) por ello conviene detectar las palabras clave y encadenarlas para poder retener el material.

Resumir

¿Tiene el hábito de sintetizar las pláticas, una vez concluidas, con sus conocidos? ¿De organizar, discriminar, la información que le llega por el oído?

Después de leer una novela haga su resumen mentalmente; al llegar a su oficina haga un resumen de lo que pensó durante el camino. Es comprensible que cueste trabajo identificar aspectos relevantes de un problema si uno no lo hace cotidianamente.

Sin ver los apuntes ¿qué vimos la clase pasada?, ¿qué no me quedó claro?, ¿qué me gustó? Es imposible que el estudiante pueda entender el material de una clase si ni siquiera tiene en mente lo que se presentó la sesión pasada. Si bien uno prepara los exámenes, no es común que uno prepare las clases. Asistir a la clase sin preguntas es como ir al examen sin respuestas. Haga un resumen mental de la clase anterior en lugar de simplemente esperar al maestro.

3.5 Anticipar

Intente, a partir de lo ya sabido, adelantarse a lo que el otro le dirá (sea libro, compañero, maestro, etc.). Es muy frecuente que el alumno llegue al aula sin haberse preguntado de qué tratará la clase; y sin haber hecho un resumen mental de la clase anterior.

Es imposible que alguien tenga expectativas positivas de un curso si desconoce el programa. También es imposible que alguien aprenda si no tiene claro cuál es el problema que ha de resolver. Por eso es importante conocer los contenidos detallados del curso, sus objetivos y prerrequisitos, así como la bibliografía y las lecturas recomendadas; sobre todo debe tener claro cuáles son *los problemas* centrales del curso. Nótese que decimos *problemas*, no *teorías*. La diferencia entre unos y otros es la misma que hay entre *preguntas* y *respuestas*.

Leer

La poesía es una defensa contra la automatización de los significados y de las frases hechas. Es una obligada búsqueda de sentido, de analogías y de contrastes. De aquí que la lectura de los clásicos y de la poesía en voz alta sea un ejercicio de obligada atención. E igual que una comida, no se trata de terminar pronto, sino de disfrutarlo.

Antes de que se generalizara el uso de “cajas negras” que registran en aviones y barcos sus movimientos y parámetros (combustible, velocidad, dirección, etcétera) se utilizaban “bitácoras”. Unos cuadernos donde el capitán registraba los acontecimientos más importantes; se guardaban en un pequeño armario (*habitaculum*) con los demás instrumentos de navegación. Como supondrá el lector, el término “*habitaculum*” dio lugar a “bitácora”. Hoy día se usan bitácoras en laboratorios de investigación y control

de calidad, en centros de cómputo, etcétera, pues, en caso de problemas, permiten conocer sus antecedentes y son, también, un registro de los avances logrados.

En nuestra bitácora de lecturas conviene dejar dos páginas en blanco al inicio para hacer el índice. Numerar las páginas permitirá hacer referencias cruzadas. Y emplear sólo las páginas pares, permitirá usar las páginas impares para comentarios y referencias futuras.

¿Qué anotar en la bitácora? Cualquier cosa que considere importante y digna de recordar. No confíe en la memoria. Lo mismo puede anotar chistes, preguntas, poemas, aforismos, problemas por resolver, acertijos, etcétera. Todo lo que tenga que ver con el ejercicio de la inteligencia merece ser conservado. Después de algunos años encontrará una gran satisfacción al reencontrarse con diferentes etapas de su aprendizaje en la vida.

La técnica de “página en blanco” también es muy útil para los apuntes de clase: es un espacio reservado para comentarios, preguntas, referencias cruzadas, etcétera.

En apuntes

Numere todas las páginas del cuaderno y escriba sólo en las impares. Haga referencias cruzadas, como en los periódicos: “pasa a la pág. 23”, “viene de la pág. 3”. Deje las primeras cuatro páginas en blanco para elaborar el índice. Use letra pequeña y clara, esto permite mayor densidad de información y velocidad de lectura.

Así como en las computadoras, en la memoria es tan importante tener la información como poderla recuperar rápidamente. En las computadoras la velocidad de recuperación depende de la estructura de los directorios; en la memoria depende de las asociaciones y en los apuntes del índice y las referencias cruzadas.

Autoexamen

Es un error muy extendido evaluar únicamente los contenidos olvidando evaluar el método de trabajo. Propóngase una fórmula de promedios ponderados para evaluar la eficiencia de su método de estudio, obviamente deberá tener clara la meta del estudio. P. ej. 0.2 páginas estudiadas (problemas resueltos), 0.3 placer logrado, 0.2 número de conceptos asimilados, 0.2 problemas resueltos, 0.1 tiempo utilizado. Cada una de las variables evalúela de 1 a 10.

Lo anterior es aplicable (y no es poca la utilidad) al mismo hábito de estudio. En otras palabras: ana-

lice con tal esquema la eficiencia de sus hábitos de estudio. No evalúe sólo el número de páginas leídas o el número de problemas resueltos. Considere, sobre todo, el placer que obtuvo en ese tiempo.

Hacer simulacros

Cualquier deportista se prepara para una prueba y se ejercita simulando las condiciones de la prueba (¡vaya perogrullada!). Si competirá en 1500 metros se entrenará para ello. Es paradójico que sean muy pocos los estudiantes que preparan los exámenes considerando las condiciones de los exámenes. ¿Intenta resolver problemas con límite de tiempo?, ¿con el formulario a la mano y nada más? ¿Intenta reproducir las condiciones de nerviosismo y tensión?

Hacer esquemas

La sintaxis gramatical obliga a usar muchos términos y a atender a la corrección en el estilo. Es un esfuerzo conceptualmente innecesario. Los esquemas, por no estar sujetos a las normas gramaticales hacen más concisa la información; además pueden representar, con unas cuantas palabras, la estructura conceptual de un tema y permiten una visión jerárquica y de conjunto; si los esquemas se acompañan de flechas, líneas continuas, líneas punteadas, etcétera son una gran ayuda para el aprendizaje.

Preguntar

Galileo tiene una fama innecesaria como observador. De hecho, Aristóteles era mejor observador que Galileo. La diferencia esencial entre ambos no está, por supuesto, en la observación sino en el tipo de preguntas que se hacían. Aristóteles se preguntaba “cuál es el lugar natural de los cuerpos”, “qué es el movimiento”, “cuáles son las causas de éste”. Galileo se pregunta “cómo cambia la velocidad de un objeto en caída libre según la distancia recorrida”.

El tipo de problemas y preguntas que *uno mismo* se propone es lo que modifica las estructuras conceptuales; es lo que lleva de actitudes precientíficas a actitudes científicas. No son las preguntas que hace el maestro sino las que nos hacemos a nosotros mismos las importantes para el aprendizaje.

Las teorías científicas son respuestas a preguntas que, a veces, el autor del texto no proporciona. En consecuencia, el estudiante tiene que estudiar soluciones que otros han elaborado a problemas que el estudiante desconoce. Es una situación semejante a la lectura de una novela de misterio donde uno conoce al culpable pero ignora el crimen.

Los grandes cambios, en las sociedades y en las personas, resultan de la formulación de nuevas preguntas, de la proposición de nuevos problemas.

Hay algunas preguntas que, a manera de comodines en la baraja, pueden colocarse en cualquier clase y en cualquier tema: ¿le molestaría repetirlo?, ¿lo puede decir de otra manera? ¿hay otro concepto clave relacionado con éste?, ¿con qué otros conceptos es frecuente confundirlo?, ¿cuál es su principal aplicación?, ¿para qué sirve?, ¿se relaciona con otros cursos?, ¿en qué problemas es más frecuente?

Es innegable que algunos profesores ven las preguntas de los estudiantes como “toritos” (por lo que se incomodan), pero la única manera de constatarlo es... preguntando.

Es claro que preguntar en clase no es “para que el profe vea que participo”, es una etapa previa al preguntarse uno a sí mismo.

Y si va a preguntar acerca de un problema particular... tenga las referencias completas: en qué libro, qué página, qué problema, se hace esta operación, ¿por qué?

Generalmente los alumnos llegan con el maestro mostrando el problemario; le leen todo el enunciado, para preguntarle después “y... ¿cómo se resuelve?”. Quien hace esta pregunta espera recetas (adiestramiento), no conocimientos. Y es común que el maestro, por comodidad, dé por respuesta... el procedimiento para resolverlo. La principal limitación del adiestramiento es la poca variedad de problemas que permite enfrentar. }

Resolución de problemas

Hacer un plan de resolución del problema requiere imaginación y suposiciones. Antes de calcular algo hay que saber para qué servirá lo calculado. También es muy común “revisar” el resultado consultando apresuradamente el problemario. Conviene, antes de esto, revisar: consistencia dimensional y orden de magnitud. Asimismo, es aconsejable buscar otros caminos de resolución. Revisar no es repetir.

Según Mario Bunge los pasos del método científico son:

1. Planteo del problema.
2. Construcción de un modelo teórico.
3. Dedución de consecuencias particulares.
4. Prueba de las hipótesis.
5. Introducción de las conclusiones en la teoría.

Por su parte, Ralph Tyler dice que los pasos del pensamiento son:

1. Advertir una dificultad que no tiene respuesta inmediata.
2. Identificar el problema con más claridad mediante el análisis (definición y precisión de conceptos).
3. Agrupar las proposiciones importantes.
4. Formular hipótesis posibles, soluciones alternativas del problema.
5. Comprobar la verosimilitud de las hipótesis.
6. Concluir.

Parry Steiner, en su texto de química, propone que las actividades básicas de la ciencia son:

1. Acumulación de información por observación.
2. Organización de la información y búsqueda de regularidades.
3. Búsqueda de una explicación de las regularidades.
4. Comunicación de los resultados y de las probables explicaciones.

George Polya, en su reconocido libro *Cómo plantear y resolver problemas* (Editorial Trillas) nos dice que para resolver un problema se necesita:

1. Comprender el problema: ¿cuál es la incógnita?, ¿cuáles son los datos?, ¿cuál es la condición?, ¿es la condición suficiente para determinar la incógnita? ¿es insuficiente?
2. Concebir un plan: ¿ha encontrado un problema semejante?, ¿conoce un problema relacionado con éste? ¿podría enunciar el problema en otra forma?, ¿puede imaginar un problema análogo más accesible?, ¿puede resolver una parte del problema?, ¿puede cambiar la incógnita o los datos para que sean más cercanos?, ¿ha empleado todos los datos?, ¿ha empleado todas las condiciones?, ¿ha considerado todas las nociones esenciales del problema?
3. Ejecución del plan: al ejecutar el plan compruebe cada uno de sus pasos, ¿puede ver claramente que el paso es correcto?, ¿puede demostrarlo?
4. Visión retrospectiva: ¿puede verificar el resultado?, ¿puede verificar el razonamiento?, ¿puede obtener el resultado de forma diferente?, ¿puede verlo de golpe?, ¿puede emplear el resultado o el método en otro problema?

Federico Arana señala unos pasos que le deberán ya ser familiares para el trabajo científico:

1. Delimitar y simplificar el objeto de la investigación o problema.
2. Plantear una hipótesis de trabajo.
3. Elaborar un diseño experimental.

4. Realizar la investigación.
5. Analizar los resultados.
6. Obtener conclusiones.
7. Elaborar un informe escrito.

Terminamos esta sección de analogías con las recomendaciones de David Ausubel:

1. Formular y delimitar el problema.
2. Evitar la concentración en un sólo aspecto del problema.
3. Ir más allá de lo obvio.
4. Evite la fijación funcional (tendencia a usar lo que ya ha servido) y la transferencia negativa (tendencia a no usar lo que no ha servido).

Una recomendación adicional: haga un mapa conceptual de los problemas ya resueltos. Será una gran ayuda para el planteo de los que vengan ya que le permitirá definir en qué punto (o puntos) ha tenido mayores dificultades.

Los esquemas anteriores pueden sintetizarse en el siguiente:

1. Detección de una dificultad.
2. Planteo de alternativas (reflexión intensa).
3. Incubación (reflexión inconsciente).
4. Intuición (chispazo).
5. Verificación.

Sin embargo, consideramos importante añadir un último momento: la comunicación. Y, a fin de incluir el aspecto emocional de la creatividad, proponemos el siguiente esquema donde renombramos las etapas con la interjección que las acompaña.

1. ¡Eh?
2. Mmmh
3. &#@ %
4. ¡Ajá!
5. ¡Ja, ja!
6. Bla, blá

Es innecesario señalar que este esquema no es secuencial; un sujeto puede oscilar entre el “Mmmh” y el “&#@ %” sin llegar al “¡Ajá!”. Por otro lado, es frecuente usar el “Bla, blá” sin haber pasado por el “¡Eh?”. A este esquema lo llamamos “Método onomatopéyico de resolución de problemas”.

No borrar, tachar

Aclaremos: tachar emborronar. No pierda tiempo (ni información) borrando lo que ya no le “convence” en un examen. Quizá lo necesite más adelante...

Quizás era un camino adecuado... Quizás el maestro lo habría considerado... Así como conservar las primeras versiones de resolución de problemas permite comparar e identificar errores, el tachar permite identificar si hay algunos errores más frecuentes.

Comenzar por el final

Una de las frustraciones del estudio es no saber que se avanza. En otros términos, uno no se da cuenta del cambio en su estado de conocimiento. ¡Imagine a un montañista que no sabe si avanza o retrocede! La mejor prueba de que hay aprendizaje es la posibilidad de resolver problemas que antes uno no podía. Pero conviene tener un equilibrio entre esfuerzo y logro. Piense en un estudiante que después de haber estudiado un largo capítulo del Resnick se atora en el primer problema. Quizá porque ya olvidó lo del principio... quizás le habría sido más fácil el último problema porque tiene más frescos los conocimientos.

La recomendación es: adelantar, retroceder, saltar de un problema a otro, de un párrafo a otro. No estudiar sólo en línea recta. La estructura del conocimiento contiene ramificaciones, de aquí que no puede obtenerse siguiendo una sola línea.

Comience el estudio leyendo los problemas de fin de capítulo; determine qué palabras son las más frecuentes, cuáles conceptos se presentan primero en cuáles problemas.

Rehacer exámenes

Pensamos equivocadamente que aprender es una actividad meramente intelectual. Pero hay una memoria muscular y otra visual que intervienen en la resolución de problemas de ciencias. Rehacer un problema viendo el examen ya calificado induce las mismas operaciones. Por ello conviene no ver el original sino hasta que se ha terminado a fin de comparar las dos versiones. ¿Se cometieron los mismos errores? ¿Fue determinante el nerviosismo?, ¿la prisa?, ¿el descuido? Como afirmaba Confucio: No corregir un error es cometer otro peor

Puesto que el aprendizaje depende de las operaciones del sujeto, mientras más elementos intervengan es más efectivo el aprendizaje porque hay más puntos de sujeción con la memoria (visual, muscular, conceptual, etcétera). La expectativa de la calificación crea un estado de gran receptividad del sujeto; receptividad emocional, claro; pero también intelectual. Una vez más, como afirmaba Confucio: Oigo y olvido, veo y recuerdo. Hago y entiendo.

Recomenzar desde cero

Al revisar los problemas cuyo resultado no coincide con el texto nos hallamos predispuestos por lo ya escrito. Es más fácil encontrar el error haciendo nuevamente el problema en otra hoja y comparar, después de haber terminado, cada paso.

Clasificar la información

Todas las ciencias comenzaron clasificando. El estudiante que da la misma importancia a toda la información del texto, de la clase, del examen, es incapaz de elaborar una estructura del conocimiento.

Con gran visión, Lavoisier se dio cuenta de la importancia del lenguaje en la clasificación:

Las lenguas no tienen solamente por objeto, como se cree comúnmente, expresar a través de signos las ideas y las imágenes. Son sobre todo, verdaderos instrumentos de análisis con cuya ayuda procedemos de lo conocido a lo desconocido.

Condillac, al estudiar la clasificación en la biología, no consideraba que existieran realmente los géneros y las especies: “Éstos son una forma de clasificar las cosas siguiendo las relaciones que existen entre ellas y nosotros”.

A fin de evitar los excesos en las palabras, Condillac sugiere ir de lo conocido a lo desconocido: “Los errores provienen de usar las palabras antes de haber determinado su significación. La falta de observación y de juicios cuidadosos hace creer que se adquieren conocimientos aprendiendo palabra que, en ocasiones, son expresiones vacías”.

El único medio para rectificar es ir a la primera acepción de las palabras, pues es condición indispensable para que una ciencia sea exacta que posea un lenguaje bien construido, como es el caso de las matemáticas.

En otra parte de *Memoire sur la nécessité de réformer et de perfectionner la nomenclature de la chimie* dice Lavoisier:

Toda ciencia física está formada por tres cosas: la serie de hechos que constituyen la ciencia, las ideas que recuerdan los hechos, y las palabras que las expresan. La palabra debe nacer de la idea, la idea debe representar el hecho... y como son las palabras las que conservan y transmiten las ideas resulta imposible perfeccionar la ciencia sin perfeccionar el lenguaje. La perfección de la nomenclatura química, desde este pun-

to de vista, consiste en dar cuenta de las ideas y de los hechos en su verdad exacta sin suprimir nada lo que ellos presentan y, sobre todo, sin agregar nada; ella no debe ser sino un espejo fiel.

Es interesante señalar que los nuevos nombres químicos fueron tomados del griego y que sus etimologías expresaban la propiedad más característica de los cuerpos que designaban. En ello los académicos franceses veían dos ventajas:

La primera, de aligerar la memoria de los principiantes que retienen difícilmente una palabra nueva cuando está absolutamente vacía de significado; la segunda, de acostumbrarlos a no admitir ninguna palabra que no vaya unida a una idea.

La argumentación presentada contra la nomenclatura propuesta por Lavoisier y los académicos franceses fue la siguiente:

1. una lengua ya aceptada y extendida no podía ser eliminada en un día,
2. la teoría antigua, aunque incompleta, explicaba algunos fenómenos (el flogisto explicaba la combustión, la composición de diferentes sustancias, etcétera).
3. la nueva teoría, igualmente incompleta, no explicaba la naturaleza de otros fenómenos (el cambio químico).

En términos de aprendizaje podemos argumentarse que los hábitos actuales de los alumnos les han permitido entrar a la universidad, por tanto, no hay necesidad de modificarlos. Que si la hubiera, cambiarlos no se lograría en un día y, en consecuencia, no hay que intentarlo.

Modificar los problemas

Es casi un acto reflejo el llegar al resultado de un problema y buscar la respuesta del libro. Cuando se revisa la resolución generalmente se repiten los cálculos. Pero revisar no es necesariamente repetir. Por ejemplo, se puede considerar como dato el resultado y omitir uno de los datos, el cual vendrá entonces a ser la incógnita.

Abandónese a la imaginación, no se ponga restricciones: ¿qué pasaría en este problema si no dieran la temperatura?, ¿cómo influye? La pregunta clave para verificar si se comprendió un problema es ¿qué pasaría si...?

Comprensión

¿Cuándo deja de ser problema un problema? ¡Cuándo hay comprensión! Esto es cuando el sujeto es capaz de:

- argumentar,
- de imaginar situaciones semejantes o contrastantes,
- entender que no entiende.
- entender qué no entiende
- decirlo con sus propias palabras,
- dar ejemplos
- reconocerlo en distintas circunstancias,
- advertir conexiones con otros conceptos,
- utilizarlo de diferentes maneras,
- deducir consecuencias,
- establecer su opuesto o contrario.

Entender un chiste es, en sentido estricto, resolver un problema, pues se trata de reorganizar la información externa y la estructura conceptual del sujeto. En el caso del chiste hay un manejo simultáneo de dos códigos a fin de elegir cuál maneja la paradoja o la ambigüedad y cambia por completo la primera interpretación. Difieren un chiste y un problema, obvio, en el tiempo y recursos necesarios para su comprensión por la complejidad de los códigos.

Imaginarse a sí mismo como alguien que disfruta el aprendizaje, que es aceptado por sus amigos con intereses culturales, que obtiene buenas calificaciones es poco usual; quizás hemos sido educados más para afrontar el fracaso que para alcanzar el éxito.

La imaginación abre caminos de solución, no se detiene en un solo aspecto del problema, genera alternativas, permite darle la vuelta como se voltea un guante; reformula el problema, lo convierte en otros más manejables, sea comparándolo con otros, dividiéndolo, proponiendo supuestos, modificando, eliminando restricciones, simplificando, reemplazando... es, en una, palabra: flexibilidad.

Tan necesario como imaginar posibilidades de solución es analizarlas, concentrarse en posibilidades concretas. Si la imaginación responde ¿qué más puedo hacer?, el análisis responde a ¿cuáles son las consecuencias de todo esto?

Es quizá resultado de nuestra cultura de la superficialidad y del confort que nos cuesta mucho trabajo concentrarnos. Y el deseo de novedad sin esfuerzo nos hace proclives a lo espectacular y ruidoso. Aunque el término alienación tiene connotaciones psiquiátricas, Marx lo propuso para señalar el carácter del obrero que no es dueño de las herramientas, ni de su tiempo, ni de lo que fabrica. (Hoy

estamos peligrosamente cerca de no ser dueños de nuestros entretenimientos, diversiones, conocimientos, hábitos de consumo y alimenticios, valores, creencias...)

La superficialidad es un mecanismo de defensa ante una realidad cada vez menos controlable por el sujeto. Si bien la rutina propicia la superficialidad y elimina la necesidad de pensar es, a fin de cuentas, el objetivo de la ciencia y la tecnología: transformar los problemas en operaciones rutinarias.

Algunas variables de aprendizaje

Curiosidad

Todo el mundo se ha preguntado por qué los científicos son propensos a gastar el tiempo en cosas pueriles. ¿Por qué esa conducta infantil? Al respecto Otto Frisch responde: “Mi opinión es que los científicos tienen una cosa en común con los niños: la curiosidad. Para ser un buen científico hay que conservar ese rasgo de la niñez. El científico no tiene más remedio que ser curioso como un niño, y es posible que junto con ello retenga otras cosas infantiles no superadas”.

La curiosidad es el primer elemento del arte de resolver problemas. Sin ésta, sencillamente, no hay problema y pues falta la desazón que empuja al investigador en su tarea: expresar lo más con lo menos, poner en el orden más elegante posible sus experiencias del mundo externo. Lo cual recuerda a Voltaire: “La poesía dice más, con menos palabras, que la prosa”. La inquietud o comezón intelectual resulta de los huecos e inconsistencias que el sujeto descubre entre lo sabido y lo anticipado; este desasosiego lo lleva a reorganizar su estructura mental, a analizar sus supuestos.

La resolución de problemas, como el humor, como el juego, como el vivir, implica siempre “supuestos”. Son como el suelo en que nos apoyamos o de que partimos. Y esto en todos los órdenes: en ciencia, en moral, en política, en arte. Toda idea es pensada y todo cuadro es pintado desde ciertos supuestos o convenciones tan básicos que, el que pensó la idea o pintó el cuadro, ni siquiera repara en ellas; no las hallamos allí puestas sino, precisamente, su-puestas. Por eso, a veces, no entendemos una idea o un cuadro: nos falta la palabra del enigma, la clave secreta de la convención.

En último término la curiosidad es necesidad de ampliar la propia vida, que es tan breve; porque, a través del conocimiento se pueden vivir miles de

vidas. Uno tiene sólo su propia experiencia, pero siendo curioso, leyendo, uno puede acercarse a las experiencias de Napoleón, Julio César, etcétera.

La curiosidad es necesaria para resolver problemas como lo es para disfrutar un chiste. El cerebro hace un ejercicio muy semejante al investigar y al reír. La investigación, como la risa, nace de la sorpresa. En ambas hay un rompimiento entre los supuestos iniciales y la realidad, entre lo que esperamos y la realidad. Observamos un absurdo, una inconsistencia, una sinrazón y la mente intranquila se lanza a averiguar esa desarmonía. Ese desequilibrio exige reflexión para resolver el conflicto. Reflexionar y reír exigen un repliegue de la inteligencia hacia el interior de nosotros mismos.

Pensar y reír invitan, por igual, a la creatividad sin límites, a la tolerancia y a la humildad. Por estas razones no hay peor enemigo para el autoritarismo que el humor y la inteligencia. Pensar y reír son prácticas de lujo, son superfluas. Lo prueba el que no sean sentidas como necesidades por muchísimas personas.

En pocas palabras: cualquier problema (por trivial que parezca) lleva a una investigación. El gusto por la investigación, la curiosidad, es una de las mayores riquezas de la humanidad. Y para investigar no existe ningún camino lógico, sólo el camino de la intuición y la convicción de que existe un orden detrás del caos de percepciones.

Imaginación

Michael Polanyi, científico y filósofo húngaro (1891-1976) afirmaba:

La fuerza motriz básica de la investigación y el descubrimiento científico es la imaginación indagadora en pos de nuevos aspectos de la realidad. Las capacidades imaginativas ensayan las visiones que la intuición suministra, desarrollándolas, razonando con ellas y proyectando experimentos fundados en ellas, y al investigador lo conducen a decisiones en cuanto a adoptar o modificar un programa de investigación o sencillamente dar un paso más, con la esperanza de que la intuición sea correcta y se establezca un nuevo contacto con el mundo real, donde a fin de cuentas reside la autoridad final de la ciencia.

La imaginación tiene que ver con la facultad de interpretar el problema de diferentes formas, esto es con la flexibilidad, la capacidad de superar las propias.

Generalmente la primera interpretación es la que prevalece. Por ello, H. Poincaré recomendaba “Nunca te enamores de tus hipótesis”.

Pero también la imaginación tiene su cariz negativo: si se tiene la idea de que un problema es muy difícil se crean dificultades extras en los exámenes. Por eso es muy común la exclamación de los alumnos, cuando se les ha explicado el examen “¿Y eso eso era todo?”

El alumno tiene una idea inamovible de cómo será el examen: duro, talachudo, perro, etcétera. De acuerdo con esa expectativa reacciona. La importancia del estudio diario radica, también, en que lleva a un aumento de confianza. Para enfrentar una situación uno debe saberse capaz de superarla y tener familiaridad con las operaciones y conceptos.

Pero, regresemos a la recomendación de Poincaré: la primera interpretación de los problemas es muy difícil de modificar. Y, frecuentemente, incluye restricciones *que no están en el problema mismo*.

Sólo con tanteos, con ensayos, se puede llegar a lo esencial. A lo necesario y suficiente. Sólo el imaginar diversas situaciones permite detectar las semejanzas y las diferencias, las analogías y los contrastes con otros problemas.

Suele entenderse la intuición como una forma de conocimiento que no procede por pasos o razonamientos sino que es total y repentino, una especie de percepción instantánea.

Ciertamente hay muchas acciones que no dependen de un conocimiento racional. Basta citar las muchas actividades que nuestro organismo realiza sin apenas conciencia, ya no digamos conocimiento, de ellas: respirar, digerir, parpadear, rascarnos, caminar, etcétera. En algunos casos podemos percibir que estamos desarrollando esa actividad (como caminar) pero esto no las mejora inmediatamente. Pareciera que toda actividad depende de automatismos. Si ejercemos un control consciente sobre estos automatismos no sólo dejamos de atender otros aspectos de la actividad sino, que además, interferimos en las acciones ya mecanizadas. Lo mismo podemos decir de “pensar”, “estudiar” y “resolver problemas”.

La intuición está formada por el conocimiento y las operaciones automatizadas e interiorizadas al extremo de que escapan de la percepción del sujeto. A semejanza del caminar, aprendido con penosos esfuerzos reforzados con la práctica diaria, la intuición es reforzada y modulada por el ejercicio diario.

Cuando un artista, estudiante o investigador dice que han estado “inspirados” o que se han dejado

llevar por la “intuición” quieren decir, simplemente, que no pensaban en lo que estaban haciendo, pues las “reglas” ya se hallan asimiladas por la repetición y seleccionadas por ensayos y errores; en una palabra, se han dejado llevar por la experiencia. Tanto los alcances como las limitaciones de la intuición se originan en la experiencia. De aquí que uno tienda a usar procedimientos que ya han servido, y a eliminar los que no han sido útiles.

El rigor y el formalismo, despojados de la imaginación, son poco digeribles, por no decir insípidos. Y, a menudo, es la ciencia que le van recetando a uno. Todo el chiste, el placer, lo proporciona la imaginación.

Perseverancia

Planck llevaba seis años trabajando en el problema del cuerpo negro. Cuando le preguntaron sus emociones al respecto, respondió:

En breve puedo describir mis acciones como un acto de desesperación. Por naturaleza soy pacífico y no me gustan las aventuras dudosas pero seis años completos, a partir de 1894, luché sin éxito con los problemas del equilibrio entre la radiación y la sustancia.

Newton afirmaba: “No tengo una inteligencia privilegiada, sólo la capacidad de profundizar en mis pensamientos”.

Quizá la “genialidad”, entendida como “don que no requiere esfuerzo” es un mito que, como todos, garantiza la cohesión social.

Respecto a la perseverancia, hagamos una referencia a Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz que, en 1859, publicó dos artículos sobresalientes: uno acerca del “timbre” o cualidad de las vocales y otro sobre las vibraciones del aire en un tubo abierto. La solución de estos problemas había sido intentada sin éxito por muchos matemáticos.

Helmholtz describió sus impresiones acerca del método que empleó para resolverlos:

El orgullo que experimenté por mis resultados se vio muy disminuído al constatar que había alcanzado el éxito sólo por el camino de generalizaciones crecientes de casos favorables, por una serie de felices conjeturas después de numerosos fracasos. Actuaba como un montañista quien, desconociendo la ruta, debe escalar lenta y laboriosamente; muchas veces debe descender porque halla un obstáculo; otras descubre nuevos pasos por accidente o por deducción. Final-

mente, cuando alcanza la cima, encuentra, con desconcierto, que hay una carretera que le habría permitido llegar fácilmente si hubiera sido suficientemente listo como para hallar su inicio.

En mis publicaciones, por supuesto, no menciono mi curso errático, sólo el camino por el cual el lector puede subir sin trabajo.

Cabe mencionar que, las más de 90 publicaciones de Helmholtz, son fundamentales en óptica, fisiología, electrodinámica, termodinámica, matemáticas y meteorología.

Como se sabe, Otto Frisch investigó la fisión del átomo bombardeado con neutrones, trabajó con Niels Bohr en Copenhague, y con Otto Stern midió el momento magnético del protón en 1933. Frisch recuerda: “Por lo general me pasaba horas y horas en el instituto ensayando ideas de mi propia cosecha; casi ninguna de ellas funcionaba, pero así es como se aprende”.

Concentración

Como todas las habilidades, la capacidad de concentración se desarrolla con el ejercicio. Conviene tener un rito y un ritmo para el estudio: un lugar fijo, horas fijas, todo el material requerido a mano (por supuesto, buenos diccionarios) y tomarlo con espíritu deportivo. Dependiendo del material por estudiar puede poner música suave; al poco rato dejará de oírlo. Así como la risa implica relajación y naturalidad también el aprendizaje. No espere la presión o la cercanía del examen para estudiar.

Einstein, se cuenta, tenía una capacidad pasmosa de concentración; ahí residía su verdadero secreto: podía pasarse horas y horas pensando, con esa clase de concentración absoluta que el resto de los mortales sólo podemos sostener unos cuantos segundos.

Gabriele Rabel, escritora, filósofa y maestra, contó que en su época de estudiante se dirigió a Einstein con admiración:

—¡Qué mente tan prodigiosa tiene usted, profesor Einstein! Cuando esos estudiantes del seminario exponen teorías completamente nuevas ¿cómo se las arregla para poner inmediatamente el dedo en el punto flaco?

Y Einstein contestó:

—Mi querida joven, hago trampa. Porque, mire usted, todas esas teorías que proponen mis estu-

diantes las conozco ya, ¡les he dado cien vueltas!
Así que sé exactamente de qué pie cojean.

Memoria

Lo más importante es lo que el alumno YA sabe, pues aprender es relacionar de una forma necesaria y suficiente lo nuevo con lo ya sabido. Por ejemplo, no es fácil recordar el teléfono 6295-1413 a menos que se asocie con π . La memoria no copia la experiencia, la reconstruye según lo que “debe-haber-sido”, según lo que considera obvio y natural. Los grabados de la figura 1 muestran cómo cambió la reconstrucción del movimiento en cosa de 100 años debido al cambio en los esquemas de interpretación.

Las disparatadas respuestas de los estudiantes muestran que los principios usados para reconstruir lo memorizado son verbales más que conceptuales; lo prueba el que tienen elementos musicales: ritmo, acentos, métrica. Son elementos sensoriales (concretos), no conceptuales (abstractos), los empleados para reconstruir las respuestas. Por ejemplo:

- La Cachonda de Leonardo (en lugar de la Gioconda).
- Los rayos catódicos (en vez de los reyes católicos).
- Un ácido cede protones. Una base los dona.

Desde luego, podemos aprender sin conciencia de que aprendemos, por ejemplo, las normas de urbanidad... y las actitudes ante el estudio.

Hay muchos tipos de memoria: muscular, conceptual, sensorial (sabores, colores, etcétera), visual (icónica). Gracias a la memoria muscular podemos ir en bicicleta, escribir, hablar. Gracias a la sensorial

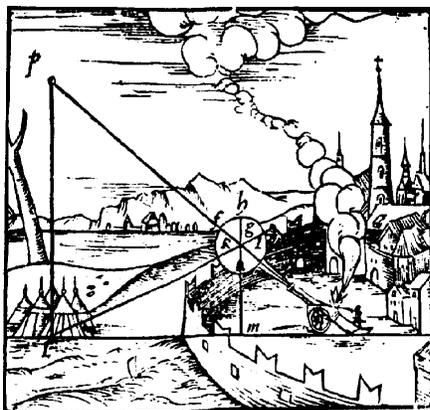
podemos identificar sabores pero ¿quién puede describir a qué sabe un mango? Hay pruebas de que el lenguaje disminuye las posibilidades de la memoria icónica, por ejemplo, el desempeño en el juego “Memoria” (localización de pares de tarjetas iguales) en niños preescolares.

Frecuentemente empleamos información efímera, p. ej. para marcar un teléfono; esa información queda en la memoria de corto plazo, así que pocos minutos después de haber marcado hemos olvidado el número. Generalmente en la memoria de corto plazo queda el material que no se vincula con lo ya aprendido, razón por la cual es efímero. Aquella de la cual podemos obtener información de uso frecuente o importante es la que se ha vinculado o estructurado con otra de manera que puede ser evocada o reconstruida. Si bien no es lo mismo aprender que memorizar, es cierto que *todo* aprendizaje se fundamenta en la memoria.

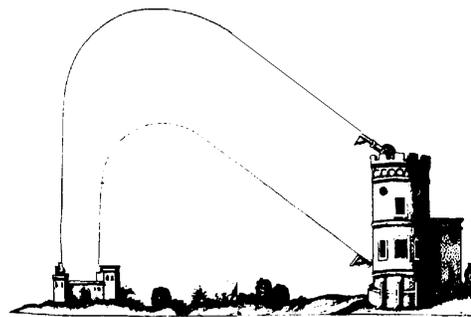
En la medida que las habilidades se han memorizado al extremo de ser hábitos, el cerebro puede conectarse en niveles superiores. Para alguien que está aprendiendo a escribir a máquina, la velocidad con que escribe sus ideas depende de esa habilidad. Análogamente, si alguien no domina el mecanismo de las derivadas parciales, difícilmente comprenderá un curso de Termodinámica.

Para “refrescar” la información memorizada conviene utilizar:

- libreta de bolsillo,
- tarjetas,
- papelitos por todas partes (en zapatos, espejo del baño, cartera).



Grabado de 1561



Grabado del s. XVII

Figura 1.

- No evite repetir las mismas notas.
- Sirven para ampliar el vocabulario, recopilar frases célebres, chistes, recordar conceptos o problemas, etcétera, etcétera.

La información que tenemos en la memoria a largo plazo tuvo que pasar antes por la de corto plazo. Sólo la práctica hace que se transfiera el material de forma que se puede usar automáticamente. Al respecto, dice Alfred North Whitehead, matemático y filósofo inglés (1861-1947):

Es un muy profundo error, repetido por casi todos los libros y eminentes conferencistas, el afirmar que debemos cultivar el hábito de *pensar en lo que estamos haciendo*. Yo pienso que se trata exactamente de lo contrario. Los grandes avances de la civilización se deben a las operaciones que podemos efectuar *sin tener que pensar en ellas*. Considere, por ejemplo, la escritura, el habla, la numeración, ¿qué podríamos hacer si tuviéramos que pensar en esas operaciones al efectuarlas?

En resumen: la práctica permite automatizar (y dejar de pensar) y atender a otros aspectos de los problemas, esto es, da lugar para la flexibilidad (tema del siguiente apartado).

Espíritu deportivo

Igual que en los deportes, para resolver problemas debe tenerse capacidad de posponer la gratificación, de disfrutar el esfuerzo y el riesgo. Y debe haber un equilibrio entre la dificultad y el logro. A nadie le interesa un juego donde siempre pierde o donde siempre gana.

En el deporte uno disfruta el triunfo, pero también el esfuerzo. Y el desconocer el resultado es fundamental para el juego, así como lo es la confianza en uno mismo y anticipar las jugadas del adversario. Quizás en el secreto, el encanto del estudio. Finalmente, las grandes pasiones son siempre profundas, irremisiblemente individuales. Incompartibles. El amor a la ciencia, como todos los amores, tiene mucho de irracional.

Dominio de lenguajes

Aunque no están claros (quizás porque no lo son) los vínculos entre pensamiento y lenguaje, es incuestionable que un razonamiento, una argumentación o una explicación que no se pueden comunicar es como si no existieran. Se estima que hay cerca de un

millón de palabras en uso en Latinoamérica, el DRAE (*Diccionario de la Real Academia Española*) sólo contiene 300,000 palabras. Cerca de 4000 son de origen árabe (ojalá, hola, albañil, almohada, alcantari-lla, alcohol, alfombra, etcétera, son unas cuantas de las más comunes). Afirma Lázaro Montes que una persona culta conoce el significado de unas 3000 palabras.

Son pocos los dominios en los que los mexicanos hacemos realmente bien las cosas, y uno de ellos es sin duda el del lenguaje. Los mexicanos, a pesar del cantinflear, o precisamente por eso, sabemos hablar; nos movemos en la palabra como peces en el agua; sabemos sacarle todo el jugo a las posibilidades expresivas del habla popular tanto en el ámbito del léxico como en el sintáctico. Hacemos uso de toda la elasticidad y ambigüedad de las palabras; sabemos decir sin decir; sabemos dar todo su valor a lo “no dicho”. Un ejemplo indiscutible lo constituye el albur que, aunque existe en muchas otras culturas bajo la forma del retruécano “calembour”, no alcanza la extensión que tiene en nuestro país. Otro ejemplo magnífico lo dan los términos que acuña de continuo la sabiduría popular. Por ejemplo “grilla”, “agandalle”, “mayoriteo” y en el medio universitario “articulero” y otras que omitimos por estar fuera de tono.

Si bien el vocabulario estudiantil no llega a 600 palabras, el problema principal no es tanto la falta de extensión cuanto la falta de precisión. Una misma palabra significa muy diversas cosas; el contexto, los gestos y la entonación llevan a muy diferentes significados. Desde luego, al tratar de lenguajes se incluyen semántica y sintaxis, esto es de las reglas de construcción de los enunciados, lo que es bordear los terrenos de la lógica de la disciplina.

Tan falaz es reducir los conceptos a las palabras como reducir una disciplina a su lógica. Pero son muchos los autores de textos que reducen la resolución de problemas a una actividad meramente lógica, lineal, jerárquica, desprovista de toda pasión y emoción humana.

Richard Feynman, al día siguiente de recibir el Nobel, 1965, leyó:

Al escribir artículos para ser publicados en revistas científicas tenemos la costumbre de hacer el trabajo tan acabado como sea posible, ocultar todas las pistas, no preocuparnos por los callejones sin salida, ni describir cómo tuvimos primero ideas equivocadas y así sucesivamente. No hay ninguna revista para publicar de una mane-

ra digna lo que realmente hicimos para concluir un trabajo, aunque ha habido en estos tiempos un creciente interés en este tipo de cosas.

Puesto que ganar el premio es una cosa personal, pensé que podría hablar de modo personal sobre mi relación con la electrodinámica cuántica, más que discutir el propio tema de una forma refinada y acabada. Además, hay tres personas que comparten el premio y si todas hablaran del tema pronto se aburrirían.

Lo que me gustaría contarles hoy es la secuencia de sucesos, realmente la secuencia de ideas, que ocurrieron, y por la que finalmente llegué al extremo final de este problema.

Poincaré afirmaba: “Para comprender una teoría no es suficiente mostrar que el camino no presenta obstáculos; es necesario considerar las razones por las que se lo toma. No es posible entender una teoría si desde el primer momento se la presente con una lógica rigurosa sin mencionar para nada el camino por el que ha llegado sin señalar las dificultades”.

Dominar la lógica de una ciencia es como jugar ajedrez sólo conociendo las reglas. Esto podrá decidir si el movimiento es correcto, pero no indica si una jugada es mejor que otra.

Narcisismo

Uno da su mejor esfuerzo sólo cuando tiene confianza en sus propias capacidades. No hay involucramiento con temor (pues parte de la atención está dirigida a la autoprotección). Es por eso que para dedicarse a la investigación uno debe tener una autoestima de futbolista argentino. Y no hay aprendizaje sin investigación.

Ciertamente, la institución escolar va minando la autoconfianza del estudiante al ignorar (o anular) su experiencia personal, su forma de expresarse y de argumentar. Por ser parte de nuestra cultura el evitar conflictos (o disimularlos) el alumno aprende a *adivinar* la respuesta que el maestro espera. Esta habilidad tiene poco que ver con la comprensión de la materia, de aquí que disminuya su interés por entender. El resultado a largo plazo es desconocer sus capacidades de comprensión y la indiferencia ante el entender o no entender. En otras palabras ¿cómo puede alguien saber que puede hacer algo si nunca lo ha hecho?, ¿cómo puede saber que el estudio es disfrutable si nunca ha tenido esa experiencia?, ¿cómo puede saber lo que es *comprender* si nunca ha tenido la experiencia del “ajá”?

Algunas reflexiones de los creadores

Lewis Carroll

L. Carroll, matemático, lógico, fotógrafo, autor de *Alicia en el país de las maravillas*, sugería:

Al lector que quiera aprender un tema le conviene adoptar las siguientes reglas:

Comience por el principio. No se deje llevar por la curiosidad leyendo aquí y allá pues se sentirá tentado a decir ¡es muy difícil para mí! y perderá una oportunidad de deleite intelectual.

No comience un tema nuevo hasta estar completamente seguro de que ha entendido los temas anteriores. De otra forma su confusión aumentará y dejará la materia con un disgusto total.

Cuando llegue a un punto que no comprenda, léalo nuevamente; si no lo entiende, léalo nuevamente. Si no lo logra después de tres lecturas olvídelo y dedíquese a otros asuntos. Al día siguiente hallará el punto mucho más accesible.

De ser posible encuentre algún amigo que lea el libro con usted y supere con usted las dificultades. El diálogo es una hermosísima forma para alisar dificultades. Para tal efecto es sumamente útil dialogar, en voz alta, con uno mismo. Intente explicarse los temas claramente a sí mismo. Existe la ventaja adicional de que uno es infinitamente paciente consigo mismo. ¡Difícilmente se disgusta uno de su propia estupidez!

Evariste Galois

Este matemático francés que contribuyó a la teoría de grupos y murió en un duelo a los 21 años en 1832 decía:

Infortunadamente casi nadie comprende que los libros más preciosos e instructivos son aquéllos en que el autor enuncia claramente qué es lo que ignora, porque un autor perjudica gravemente a su lector si oculta una dificultad.

Francis Bacon

El autor del famoso “método científico” (que no sigue ningún científico) afirmaba:

Salomón sólo reclamaba para sí la gloria de la investigación de la verdad. La gloria de Dios es ocultar una cosa. Pero la gloria del rey es descubrirla. Como si, conforme al inocente juego de los niños, la Divina Majestad se deleitara en esconder sus obras con el fin de que fueran

descubiertas. Y como si los reyes no pudiesen obtener más grande honor que el de ser compañeros de Dios en ese juego.

Umberto Eco

Eco en su apostilla a la novela *El nombre de la rosa* sostiene que:

El escritor (igual que el pintor, el escultor, el compositor) sabe siempre lo que hace y cuánto cuesta. Sabe que debe resolver un problema. Puede ocurrir que los datos de partida sean oscuros, obsesivos, compulsivos, no ser más que un deseo o un recuerdo. Pero, después, el problema se resuelve en el escritorio interrogando a la materia sobre la cual se trabaja, materia que exhibe las leyes propias de su naturaleza y al mismo tiempo el recuerdo de su cultura (el eco del intelecto).

Lamartine afirmaba acerca de una poesía suya que la había escrito en un solo intento, en una noche de tormenta en un bosque. Mentía. Cuando murió se encontraron los bosquejos con las tachaduras y las correcciones.

Cuando el escritor (o el artista en general) dice que ha trabajado sin pensar en las reglas del proceso, quiere decir que trabajaba sin saber que conocía las reglas. Un niño habla sin conocer las reglas de la gramática.

Quizá las páginas más luminosas acerca de los procesos artísticos han sido escritas por artistas menores, de obras modestas, pero que sabían reflejar bien sus propios procesos.

James Clerk Maxwell

Maxwell (1831-1879) quien predijo la radiación electromagnética a partir de sus célebres ecuaciones, afirmó en 1871:

Sólo cuando intentamos poner en contacto la parte teórica de nuestra preparación con la práctica es cuando comenzamos a experimentar el pleno efecto de lo que Faraday denomina inercia mental. No sólo la dificultad de reconocer, entre los objetos concretos que tenemos delante la relación abstracta que hemos aprendido de los libros, sino el dolor perturbador de arrancar la mente de los símbolos a los objetos, y de éstos otra vez a los símbolos. Con todo, éste es el precio que tenemos que pagar por las nuevas ideas.

No hay método más poderoso para introducir

conocimiento en la mente que presentarlo de cuantas maneras diferentes se pueda. Cuando las ideas, después de penetrar por diferentes entradas, se reúnen en la ciudadela de la mente, la posición que ocupan se torna inexpugnable.

Jorge Maronna

Maronna, integrante del grupo Les Luthiers, pinta un panorama de desolación acerca de la creatividad en el humor:

Es horrible. Terminar una canción que luego se canta en dos minutos nos toma meses de una labor muchas veces tediosa. A veces nos reímos mucho al inventar alguna novedad, pero son muchos más los momentos que pasamos pensando trabajosa e inútilmente en algún chiste. Son horas y horas en las que no aparece nada —y agrega con el rostro desencajado como queriendo espantar a futuros competidores— pero nada de nada.

Mauritz Cornelius Escher

El grabador holandés que desarrolló interesantes formas gráficas para representar el infinito, Escher, decía:

Todos mis trabajos son juegos. Juegos serios. Mientras dibujo me siento a veces como si fuera un médium controlado por las creaturas que estoy conjurando. Es como si ellas mismas decidiesen el aspecto en el que prefieren aparecer. La frontera entre dos figuras adyacentes tiene una función doble y su trazado es un asunto complicado. A cada lado de la frontera toma forma, simultáneamente, un ser reconocible. Pero el ojo y la mente no pueden ocuparse de dos cosas al mismo tiempo y por lo tanto tienen que saltar rápida y continuamente de un lado a otro. Quizá sea esa dificultad el verdadero motor de mi perseverancia.

Arthur Koestler

Koestler, escritor e historiador húngaro, considera que:

Separar un objeto o concepto de sus habituales relaciones de asociación, verlo en una nueva relación es una parte esencial del proceso creador. Es un acto de creación y destrucción. Exige la ruptura de un hábito mental. Esto explica la extraña combinación de escepticismo y credulidad en

el genio creador. Desintegración y síntesis semejante a “la noche oscura del alma” del místico.

Henri Poincaré

Poincaré, matemático y físico francés fallecido en 1912, afirmaba:

Crear consiste en hacer combinaciones y examinar sólo las útiles, que son una minoría. Inventar es elegir y elegimos las ideas que, directa o indirectamente afectan más profundamente a nuestra sensibilidad emocional.

Sorprenderá ver invocada la sensibilidad a propósito de demostraciones matemáticas que, al parecer sólo importan al intelecto. Pero es olvidar el sentimiento de belleza matemática, la armonía de números y formas, la elegancia geométrica. Hay un verdadero sentimiento estético que todo matemático conoce y, sin duda, pertenece al dominio de la sensibilidad emocional.

Parece perogrullada decir que el elemento afectivo es esencial para el descubrimiento. Tanto como decir que ningún descubrimiento significativo puede ocurrir sin deseo de lograrlo.

Roald Hoffman

Hoffman, Premio Nobel de Química en 1981, y autor de hermosas poesías dice que:

Comprender es reconocer que las propiedades de la materia están determinadas no por uno sino por varios factores. Comprender es conocer la combinación de diferentes mecanismos físicos responsables de los procesos y estimar un orden de magnitud.

Si bien es importante obtener un número cierto, lo es más saber en qué momento nuestra estimación deja de ser operativa. Reconocer esa ruptura significa comprender. Otra característica de la comprensión es la predicción en términos cualitativos. Puede haber gran predictibilidad numérica y muy poca comprensión.

Sor Juana Inés de la Cruz

Sor Juana, autora de comedias, numerosos poemas y autos sacramentales, fallecida en 1695, nos habla de la necesidad y suficiencia en términos poéticos y amorosos en su Soneto 169:

Mas yo soy en aquesto tan medida
que, en viendo a muchos, mi atención zozobra,
y sólo quiero ser correspondida

de aquél que de mi amor réditos cobra;
porque es la sal del gusto el ser querida:
que daña lo que falta y lo que sobra.

Carlo Coccioli

Coccioli, escritor y periodista contemporáneo, habla de la importancia de la perplejidad:

El budismo, como disciplina mental, desde hace 2500 años propone el establecimiento de la atención. El Satipatthana-sutra exhorta al ser humano a “hallarse presente a sí mismo” aunque fuese en el acto aparentemente tan simple de respirar. En México el pueblo es muy imaginativo (superficial) por eso repite “fíjate, fíjate”. Aquí nadie “se fija”.

¿Qué tiene que ver con México el método psicológico de la India? Nada y todo: depende del humor con que se mire. Frente a lo habitual, a lo local, lo exótico tiene la ventaja de que sorprende. La sorpresa es un elemento importante para las mutaciones anímicas del hombre. Con el asombro, el estupor, la perplejidad, se mueve fácilmente el petate.

—¿Qué es Buda?

—Cipreses en el jardín.

Lo absurdo engendra asombro. El asombro limpia al cerebro de sus telarañas.

Isaac Newton

Se cuenta que le preguntaron a Newton en su vejez cómo había descubierto la ley de gravitación universal.

“Pensando en ella continuamente”.

En otra ocasión describió su procedimiento:

“Mantuve el asunto cotidianamente frente a mí y esperé que los primeros albores se fueran abriendo, poco a poco, hasta ser plena y clara luz”.

Lo decisivo en Newton fue una concentración increíblemente intensa sostenida durante unos 30 meses.

Octavio Paz

Paz, premio nobel de literatura en 1990, afirma que:

La imaginación es una facultad fundamental tanto para la creación como para el hecho amoroso. Con ella no se inventan mundos ficticios sino que se descubren relaciones ocultas entre las cosas.

Oscar Wilde

El autor de agudas obras de teatro como *La importancia de llamarse Ernesto*, etc. Wilde escribió:

El espíritu de curiosidad desinteresada es la verdadera raíz y la verdadera flor de la vida mental, de la lucidez intelectual. Sólo el espíritu de curiosidad lleva a lo mejor de cuanto se sabe y se piensa en el mundo.

Las cosas fáciles de comprender son las únicas que no vale la pena considerar.

Vivimos en una época de gentes que tienen demasiado trabajo e insuficiente educación. Hay gentes tan laboriosas que se han hecho absolutamente estúpidas. Y, aunque resulte duro, no puedo menos de decir que tales gentes merecen su suerte. El medio seguro de no saber nada de la vida es intentar hacerse útil.

Una idea que no es peligrosa no es digna de llamarse idea.

Para conocer la verdad hay que imaginar miles de mentiras. Porque ¿qué es la verdad? En materia religiosa: la opinión que ha sobrevivido. En materia científica: la última teoría. En arte: nuestro último estado del alma.

Aarón Copland

En su libro *Cómo escuchar la música* propone dos preguntas fundamentales y tres niveles de escucha. Las preguntas son: ¿escucho todo lo que ocurre? ¿lo disfruto? Los niveles de escucha son:

El plano sensual es el puro placer del sonido mismo; suele ser un estado de ánimo tonto, pero placentero. Es una doble evasión: de los problemas personales y de la misma música.

El plano expresivo es, frecuentemente, el meramente emocional. Toda música tiene poder de expresión pero es intraducible a palabras. Las almas cándidas confunden expresión con evocación, con asociaciones emocionales, anímicas o de paisajes.

Cuanto más bello un tema más difícil asociarle una palabra. Triste, ¿con tristeza pesimista? ¿o resignada? ¿o melancólica? Si encuentra las palabras no hay garantía de que otros las compartan; ni él mismo en otro momento.

El plano musical capta melodía, ritmo, armonía y timbres de un modo más consciente.

Sólo en obsequio de una mayor claridad disocia los planos. Al escuchar se relacionan entre sí sin mayor esfuerzo mental, se hace casi instintiva-

mente. Ocurre como en el teatro: escenografía, vestuario, parlamentos, movimientos, etc. El plano sensual es la agradable sensación de estar ahí. El expresivo resulta de lo que ocurre en escena: un sentimiento genérico análogo a la cualidad expresiva de la música. La trama y su desarrollo equivalen al plano puramente musical. Según el mayor o menor grado en que nos demos cuenta de cómo el artista maneja su material seremos oyentes más o menos inteligentes. Tanto la creación como la audición musical implican *estar dentro y fuera de la música*; gozarla y juzgarla, anticiparla. Escuchar inteligentemente, activamente, es ser más consciente y enterado.

No es difícil extrapolar estas reflexiones a la resolución de problemas: ¿me doy cuenta de todo lo que ocurre?, ¿me dice algo?, ¿lo disfruto?

Wolfgang Amadeus Mozart

De las cartas de Mozart es el siguiente extracto:

Cuando estoy de buen humor, o después de una buena comida, o cuando no puedo dormir, los pensamientos se amontonan en mi mente ¿cómo se producen? ¿de dónde vienen? No lo sé, no puedo decir nada al respecto. Las ideas que me gustan las aparto y las tarareo. Ya que tengo el tema, viene otra melodía que se eslabona a la primera, se ajusta a las necesidades de la composición como un todo. El contrapunto, la instrumentación, los fragmentos melódicos producen, al final, la obra completa.

Entonces se enciende en mí el fuego de la inspiración, caso que nada distraiga mi atención. El trabajo crece, lo expando, lo concibo más y más claramente hasta que tengo la obra completa, aunque sea grande, en mi cabeza. Entonces mi mente la captura como una mirada puede capturar a un cuadro hermoso o a una bella joven. No llega a mí sucesivamente con sus partes elaboradas en detalle, eso ocurre después, pero mi imaginación la escucha en su integridad.

Leonard Bernstein

Bernstein, el autor de *West Side Story* habla del entusiasmo en estas palabras:

La situación ideal es la pérdida del yo. Uno olvida por entero quién es o dónde está y escribe la pieza ahí mismo. La compone como si nun-

ca la hubiera escuchado hasta entonces porque se ha convertido en ese compositor. Yo siempre sé cuándo me ha sucedido eso, porque me lleva mucho tiempo regresar. Necesito cuatro ó cinco minutos para saber en qué ciudad estoy, qué orquesta es, quién es esa gente que hace tanto ruido a mis espaldas, quién soy. Es una enorme experiencia, pero no se da con suficiente frecuencia. Puede producirse en el éxtasis o en la meditación. Puede ocurrir en el orgasmo, cuando uno está con alguien que ama.

Michael Polanyi

Según el físico y filósofo Michael Polanyi, el entendimiento comienza con un “conocimiento personal”, con la habilidad para extenderse mentalmente o proyectarse en el objeto de estudio. El tema de investigación deja de ser un objeto externo; a través de un acto de imaginación el observador se identifica con el tema y profundiza en él. El caso más conocido de lo anterior son los “experimentos mentales” de Einstein. En uno de ellos Einstein se imaginó a sí mismo dentro de un elevador que cae y un rayo de luz que se refleja repetidamente entre las paredes opuestas del elevador

Henri Lebesgue

Uno de los mayores matemáticos de su tiempo [1875-1941] puso los fundamentos de la topología y contribuyó a las series de Fourier y la teoría del potencial afirmó:

Ningún descubrimiento ha sido hecho en matemáticas, o en un campo relacionado, por un esfuerzo de lógica deductiva; los descubrimientos resultan del trabajo de la imaginación creadora, que construye lo que le parece que es verdad, guiada a veces por analogías, a veces por un ideal estético, pero sin apoyarse nunca en sólidas bases lógicas. Una vez que un descubrimiento ha sido hecho, la lógica interviene como un control; es la lógica la que decide finalmente

si el descubrimiento es verdadero o ilusorio; su papel, por tanto, aunque considerable, es solamente secundario. ■

Referencias bibliográficas

- Guillermo Jaim Etcheverry. *La tragedia educativa*. FCE, 1999.
- O. Wilde. *El crítico artista*. Grandes clásicos Aguilar, México, 1991.
- Gerald Holton. *Einstein, historia y otras pasiones*. Taurus. Madrid, 1998.
- Morris Kline. *El fracaso de la matemática moderna*. Siglo XXI, 18a. edición, 1998.
- Henri Poincaré. *Ciencia y método*. Espasa Calpe, S.A. Madrid, 1963.
- Mario Bunge. *La ciencia, su método, su filosofía*. EUDEBA, 1958.
- Ralph Tyler. *La elaboración del currículo*. Editorial Troquel. Buenos Aires, 1973.
- Parry Steiner. *Química. Fundamentos Experimentales*. Edit. Reverté. Barcelona, 1973.
- Federico Arana. *Método experimental para principiantes*. Editorial Joaquín Mortiz.
- Patricia Aceves. *Química, Botánica y Farmacia en la Nueva España a finales del siglo XVIII*. UAM-X, 1993
- Rutherford Aris. *Los resortes de la creatividad científica*. FCE. México 1989.
- Otto Frisch. *De la fisión del átomo a la bomba de hidrógeno*. Alianza Editorial.
- José G. Moreno de Alba. *Minucias del lenguaje*. FCE México 1992.
- Lewis Carroll. *The Complete Works of Lewis Carroll*. The Nonesuch Press, 1939.
- J. Boorstin. *Los descubridores*. Editorial Crítica. Grijalbo.
- David Ausubel. *Psicología Educativa*. Editorial Trillas. México, 1978.
- J. Hadamard. *Psychology of invention in the mathematical field*. Dover Publications, 1945.
- Santiago Ramón y Cajal. *Los tónicos de la voluntad*. Colección Austral No. 227, Espasa-Calpe Mexicana, 1994.