LA DINÁMICA CARDIACA

PRIMERA PARTE

Capítulo 1.
Pensamiento y creatividad

El pensamiento y la creatividad son necesarios para el desarrollo de las ciencias y, en general, en todos los aspectos de la vida. En este capítulo se muestran algunos elementos del proceso creativo en el contexto de la física. Esto, con el objetivo de mostrar al lector un panorama de cómo se llega a soluciones en el ámbito científico, desde diferentes aproximaciones, generadas para los procesos de pensamiento y creación, por ejemplo, los análisis de Lawrence Krauss, Bernard Lonergan o Edward de Bono.

En este capítulo, también se da a conocer el proceso que tuvo lugar para el desarrollo de uno de los resultados a los cuales llegaron los autores; el cual se ilustra con el procedimiento de Johannes Kepler (1571-1630) para determinar la órbita terrestre, según la explicación que dio Albert Einstein (1879-1955), durante una conferencia sobre este particular.

CÓMO PIENSA LA FÍSICA TEÓRICA

El doctor en física Lawrence Krauss (1), en *Miedo a la física: una guía para perplejos* (2), analiza la forma de razonamiento sistemático del físico, que lo conduce a las respuestas correctas. Krauss plantea que, en su mayoría, las teorías modernas nacieron como simples modelos que crearon los físicos, que no encontraban otra manera de resolver un problema. La sencillez de los pequeños modelos, generalmente, se basa en otros modelos más simples aún; porque las cosas que podemos saber con exactitud son muy pocas. Muchas veces, los físicos siguen una misma línea de acción y operativa, tal como la abstracción de los detalles irrelevantes. En representación de lo anterior, el autor comienza con el siguiente cuento.

> En una granja lechera cuya producción era menor que la requerida, consultaron a un físico, un ingeniero y un psicólogo. A cada uno se le dio un tiempo prudente para que inspeccionara los detalles de la operación antes de emitir un informe. Las respuestas fueron las siguientes: el ingeniero propuso que las mejoras dependen de la disminución del tamaño de los establos y el aumento del diámetro de las mangueras ordeñadoras, para mejorar la velocidad de flujo en la producción de leche. A continuación, se llamó al psicólogo, cuyo informe fue: cambiar el color del establo, ya que el color verde podría contribuir en un mayor flujo de leche; el aburrimiento que percibió de las vacas disminuiría con la plantación de más árboles. Finalmente, llamaron al físico, que pidió un pizarrón dibujó un círculo y dijo: "Supongamos que la vaca es una esfera..."

Este cuento evidencia algo importante de la forma de pensar de los físicos, que puede resumirse en esto: si quieres pensar como físico debes ser capaz de abstraer los detalles irrelevantes. Este tipo de pensamiento simplificador permite a los físicos llegar a resultados sorprendentes. En el caso de la vaca, se hace una abstracción como la que se puede observar en la Figura 1. Krauss decide ir un poco más allá con su análisis y reflexionar físicamente sobre ella. Así pues, pide imaginar que la vaca es una supervaca, idéntica a la normal, excepto en que en esta se han aumentado todas sus dimensiones por un factor de 2. Se formula, entonces, la siguiente pregunta: ¿cuál es la diferencia entre estas dos vacas?

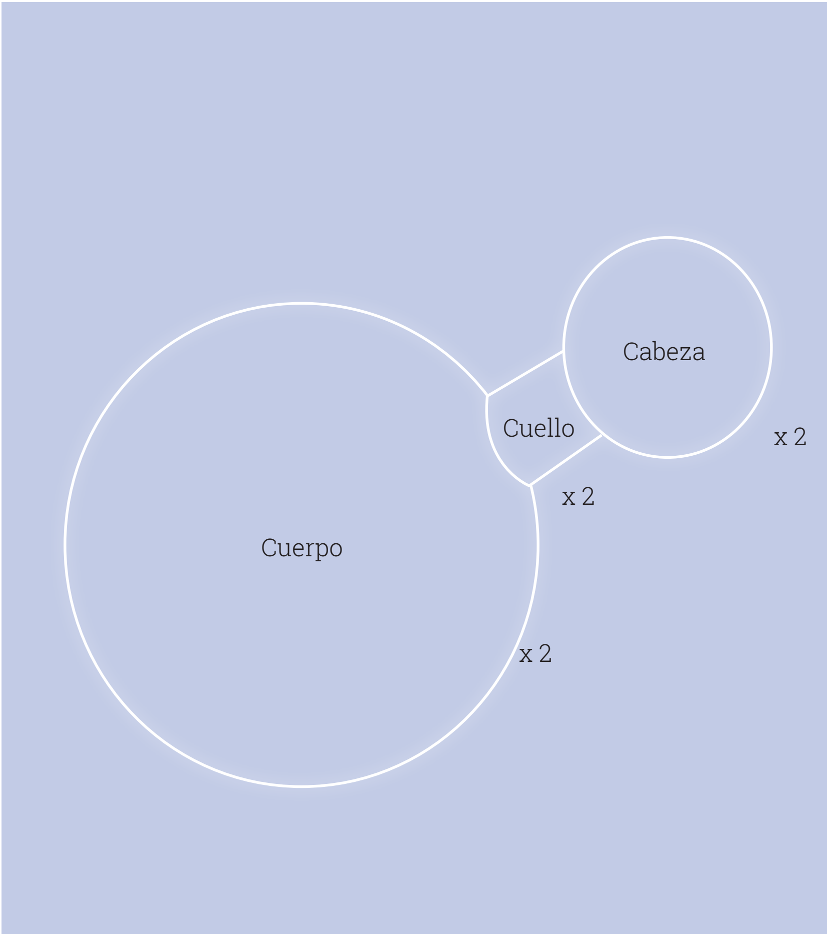


Figura 1. Abstracción de la estructura de una vaca.
Fuente: elaboración propia, a partir Krauss (2).

La respuesta simple es que una es el doble que la otra. Pero, al observar detenidamente lo que ha pasado entre la vaca y la supervaca, puede notarse que, si las vacas están hechas del mismo material y su peso depende de esta cantidad de material, esto quiere decir que su peso depende del volumen. Hallar el volumen de una vaca común, con todos sus detalles e irregularidades es complicado, pero es fácil calcular el volumen de una esfera si conocemos su radio.

Lo mejor de este tipo de razonamiento es que, gracias a su simplicidad, ni siquiera es necesario conocer el volumen exacto de ninguna vaca, sino la relación entre los volúmenes ocupados por la cabeza, el cuello y cuerpo de la supervaca. La palabra clave en esta relación es *cúbico*. Si se aumentan las dimensiones lineales de algo por un factor de 2, entonces, su volumen aumenta por el cubo de 2, es decir, 8. Por consiguiente, la supervaca pesa ocho veces más que la vaca normal.

Ahora bien, si el segundo fin del criadero de vacas es hacer ropa de cuero, se tendría una cantidad de piel que aumentó con el área superficial de la vaca. Así pues, conociendo las leyes matemáticas que se refieren a cualquier superficie, puede llegarse a la conclusión de que, si algo aumenta sus dimensiones lineales por 2, su área aumenta por el cuadrado de 2, es decir, 4 (para este caso, entonces, la palabra clave es cuadrado). Esto nos lleva a una conclusión sorprendente: la vaca que es dos veces más grande, en realidad pesa ocho veces más y tiene cuatro veces más piel.

Así pues, si el propósito es incrementar el tamaño de la vaca, se llega a un punto donde la piel de la vaca no soportaría la presión y explotaría. Adicionalmente, el cuello se fracturaría a causa del peso de la cabeza. Así que existe un límite con respecto a cuán grandes pueden ser las vacas que el granjero críe, no debido a leyes de la biología, sino a leyes físicas, gracias a las cuales es posible inferir por qué los animales con cabeza proporcionalmente más grande con respecto a su cuerpo, como la ballena, viven en el agua, ya que este líquido ayuda a soportar su peso.

Desde estas mismas leyes físicas que determinan las proporciones en las dimensiones de los organismos, se explica por qué los dinosaurios tenían un cerebro proporcionalmente tan pequeño comparado con su cuerpo y se puede mostrar que debían tener cuellos muy gruesos, pues estructuralmente su cuerpo no podría resistir cabezas más grandes.

Este ejemplo evidencia cómo el camino de la física es un camino en el que, al deshacerse de información irrelevante, es posible lograr expresiones simples. Esta simplicidad permite lograr abstracciones de los fenómenos, que dan lugar a la visión de órdenes subyacentes y, en última instancia, nos permiten hacer predicciones inesperadas, como las que pueden hacerse acerca de la fisiología de los dinosaurios, tal como se dijo.

Acerca de esto, Einstein (3) se mostraba convencido de que, con construcciones puramente matemáticas, era posible hallar las leyes y los conceptos que conectan la experiencia con las ideas matemáticas; lo que constituye la clave para comprender los fenómenos naturales. Agregaba que los conceptos matemáticos no pueden ser deducidos de la experiencia, aunque esta sí puede sugerir los conceptos más apropiados. Sin embargo, la experiencia sigue siendo el criterio decisivo de la utilidad física de una construcción matemática, pero afirmaba: "El principio creativo reside en la matemática [...], por lo que el pensamiento puro puede captar la realidad, tal como los antiguos lo habían soñado".

Este proceso es de vital importancia para el método del físico teórico, el cual se basa en partir de postulados generales o principios, para deducir de ellos conclusiones, de forma que el trabajo del físico está formado por dos etapas (3). La primera consiste en descubrir sus principios, para lo cual es necesaria la simplificación y abstracción. Así pues, el físico debe percibir, a partir de amplios conjuntos de hechos empíricos, los rasgos generales que le permitirán una formulación precisa para, posteriormente, pasar a la segunda etapa que, a su vez, consiste en extraer las conclusiones que se desprendan de los principios encontrados.

En esta última etapa, es de utilidad el pensamiento deductivo, el cual se basa en el método deductivo que consiste en obtener nuevo conocimiento como consecuencia lógica de la unión ordenada de conocimientos previos, que se suponen verdaderos. Un ejemplo de esto puede verse de manera sencilla en la demostración del teorema de los ángulos interiores de un triángulo plano, que se explica a continuación.

Teorema de la suma de los ángulos interiores del triángulo

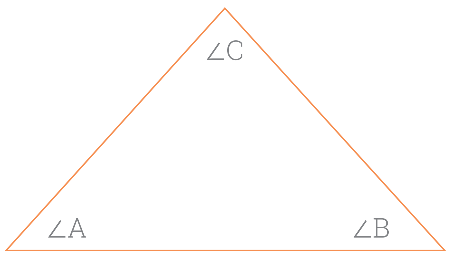
Este teorema, encontrado en el célebre libro de los Elementos del matemático griego Euclides (*ca.* 325-265 a. C.), se enuncia de la siguiente manera (4):

> la suma de los ángulos interiores de un triángulo plano es igual a dos ángulos rectos.

Consideraciones:

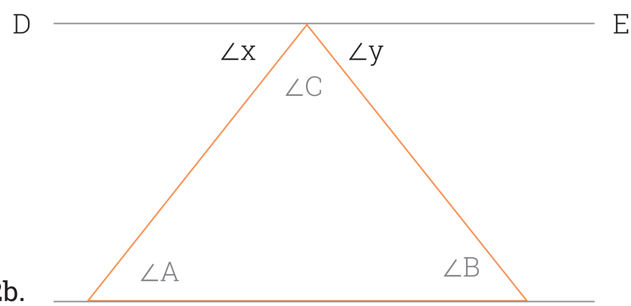
Sean ∠A, ∠B y ∠C los ángulos interiores del triángulo ΔABC (Figura 2a).

2a.



a. Triángulo con los ángulos ABC indicados

2b.



b. Triángulo con recta DE, tangente a C y paralela al lado opuesto a C

Figura 2. Triángulos para la demostración del teorema de la suma de los ángulos internos de un triángulo.

Fuente: elaboración propia.

Debemos demostrar que la suma de estos ángulos es igual a 180° o dos ángulos rectos (2R). Estas dos expresiones son equivalentes, pues cada ángulo recto es de 90°. Para hacer esta demostración es necesario hacer una construcción auxiliar (Figura 2b), la cual consiste en trazar una recta tangente al vértice C, paralela al lado opuesto al ∠C. Así las rectas DE y AB son paralelas y se forman dos ángulos adyacentes al ∠C, los ángulos ∠x y ∠y.

Demostración:

Siguiendo el *método deductivo*, utilizaremos, el *teorema de ángulos consecutivos al lado de una recta* (Ecuación 1, demostrado en la siguiente sección) y la definición de *ángulos alternos internos entre paralelas*.

$\angle x+\angle C+\angle y=2R$ (1) → Por ser ángulos consecutivos al lado de una recta.

Ahora, considérense las siguientes igualdades (Ecuaciones 2 y 3):

$\angle x=\angle A$ (2)

y } Por alternos internos entre paralelas

$\angle y=\angle B$ (3)

Ahora, teniendo en cuenta que un número puede sustituirse por otro equivalente en cualquier operación entre números y sustituyendo las Ecuaciones 2 y 3 en la 1, se obtiene el siguiente resultado:

$\angle A+\angle C+\angle B=2R$

Qué es lo que se quería demostrar.

El siguiente teorema explica de dónde salió la Ecuación 1.

Teorema de los ángulos consecutivos

Este teorema de la geometría euclidiana se enuncia de la siguiente manera:

> La suma de los ángulos consecutivos formados a un lado de una recta es 180°m.

Consideraciones:

Sean ∠AOD, ∠DOC y ∠COB los ángulos consecutivos formados a un lado de la recta AB (Figura 3).

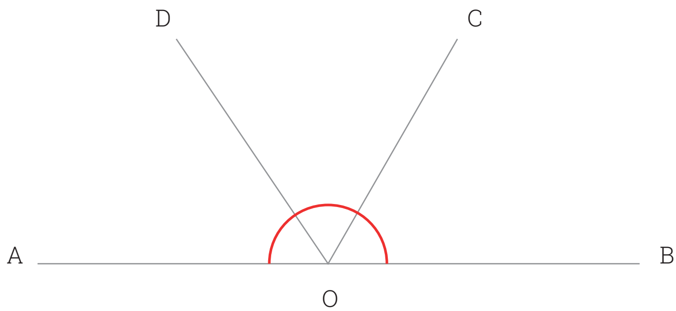


Figura 3. Ángulos consecutivos al lado de una línea recta.
Fuente: elaboración propia.

Demostración:
Por ser ángulos adyacentes:

$$\angle AOD+\angle DOB=180 \qquad (4)$$

Pero, por la suma de ángulos interiores a otro ángulo, se tiene:

$$\angle DOB=\angle DOC+\angle COB \quad (5)$$

Sustituyendo la Ecuación 5 en la 4, tenemos:

$$\angle AOD+\angle DOC+\angle COB=180°$$

Con estas demostraciones puede observarse cómo se encadenan diferentes resultados para generar nuevo conocimiento.

METODOLOGÍA KEPLERIANA PARA DETERMINAR LA TRAYECTORIA DE LA ÓRBITA DE LA TIERRA

Otro ejemplo singular del proceso de abstracción y simplificación necesario para lograr un descubrimiento científico es el arduo trabajo desarrollado por Johannes Kepler (1571-1630) para establecer la naturaleza de los movimientos de los planetas en el sistema solar (5).

En 1930, Albert Einstein (6) ofreció una conferencia de homenaje a Kepler, en la cual reconstruyó el camino que el astrónomo alemán debió seguir para determinar la órbita de la Tierra, lo que constituía el primer paso para poder determinar las órbitas de los otros planetas. Con base en esta reconstrucción, se realizó un trabajo que permitió el desarrollo de una metodología para hallar la órbita terrestre, usando geometría euclidiana y analítica.

El primer punto notable en la trayectoria de pensamiento de un físico como Kepler es que no inició su trabajo, libre de prejuicios, sino que, por el contrario, contaba con dos pilares muy fuertes que determinaron toda su ruta de trabajo. El primero era su creencia en que el universo estaba regido por órdenes matemáticos, lo cual, como Einstein señala, es un hecho admirable, teniendo en cuenta que en época de Kepler no se habían establecido aún leyes matemáticas como tal. El segundo era que nuestro astrónomo era un defensor notable del sistema copernicano, aunque aún no había sido confirmado empíricamente. Esto muestra la importancia de los prejuicios, como dice el nobel Steven Weinberg: "Lo importante no es estar libre de prejuicios teóricos, sino tener los correctos" (7, p. 105).

Einstein inició su análisis afirmando que, como todo estudio en física, para determinar cualquier movimiento, se requiere definir un sistema de referencia fijo. En el caso de Kepler el sistema de referencia es heliocéntrico, pues, como se comentó, estaba convencido de la validez de la posición copernicana, de modo que el Sol estaría en el centro y las constelaciones del zodiaco (estrellas fijas) completarían el sistema de referencia. Con base en esto, es posible establecer el cambio de dirección del segmento de recta Tierra–Sol como una función del tiempo.

Einstein señaló que, a partir de estas observaciones, Kepler pudo deducir que la órbita de la Tierra y del resto de los planetas era cerrada y regular. Esto le permitió demostrar, posteriormente, que los planetas y el Sol están en un mismo plano, la eclíptica. Adicionalmente, pudo establecer que las velocidades de los planetas son las mismas para los mismos momentos del año.

Sin embargo, solo con este sistema de referencia no podía llegar más allá, pues, aunque las estrellas fijas y el Sol se encontraran quietos en este sistema de referencia, todavía Kepler y todos los observadores que registraban las posiciones de los cuerpos celestes se encontraban en un planeta en movimiento: la Tierra. De forma que no era posible determinar las posiciones reales de los cuerpos celestes. Así, era vital determinar la órbita terrestre, para deducir la forma de la órbita de los otros planetas conocidos entonces.

Así pues, para determinar la órbita de la tierra, era necesario calcular cómo varía la distancia Tierra-Sol. Para esto, se acostumbraba a utilizar triangulaciones geométricas que permitían analizar estos cambios. La pregunta era cómo hacerlo. Kepler se encontraba en el mismo planeta del cual quería hallar su órbita. Este, a su vez, se encontraba en un movimiento aún no descrito; pero contaba con medidas de otros planetas que también se encontraban en movimiento. Entonces, cabía preguntarse ¿dónde encontraría Kepler una luz que permaneciera quieta en medio de todo este movimiento que parece inatrapable?

Aquí empieza la magia del pensamiento creativo: Kepler propuso un nuevo cuerpo: una linterna celeste (Figura 4), como fue llamada por Einstein, cuya posición debía encontrarse más lejos del Sol que de la Tierra (6). De esta manera, podrían realizarse triangulaciones geométricas sin problema.

Figura 4. Linterna, una analogía que utilizó Einstein para explicar el método de Kepler.

Fuente: elaboración propia.

Esa linterna celeste era, justamente, Marte. Cabe pues, preguntarse por qué escoger este planeta si también está moviéndose de manera indeterminada si lo que se buscaba era algo estático. Pues bien, partiendo de su prejuicio de que las órbitas planetarias eran circulares con el Sol en el centro; y con su mente matemática y geométrica, perfeccionada por años, solo Kepler podía dar sentido a esto:

Imaginen que estamos en el siglo XVII, dos siglos antes de que se hicieran los primeros intentos de lo que después fue la fotografía. Kepler se adelantó a su tiempo e imaginó que podía tomar una fotografía en la que podía congelar la escena celeste. La escena que imaginó congelar era el momento en que el sol, la Tierra y Marte se encuentran alineados (Figura 5). Esta línea imaginaria será lo estático (la foto). Ello permitió, luego, a Kepler realizar las triangulaciones para resolver el problema, pues, al estar alineados los tres cuerpos, es posible determinar, en ese instante, la línea Sol–Marte, que se repetirá cada año marciano independientemente del movimiento de la Tierra. Con esto en mente, ahora veamos más detalles de esta línea imaginaria en el espacio.

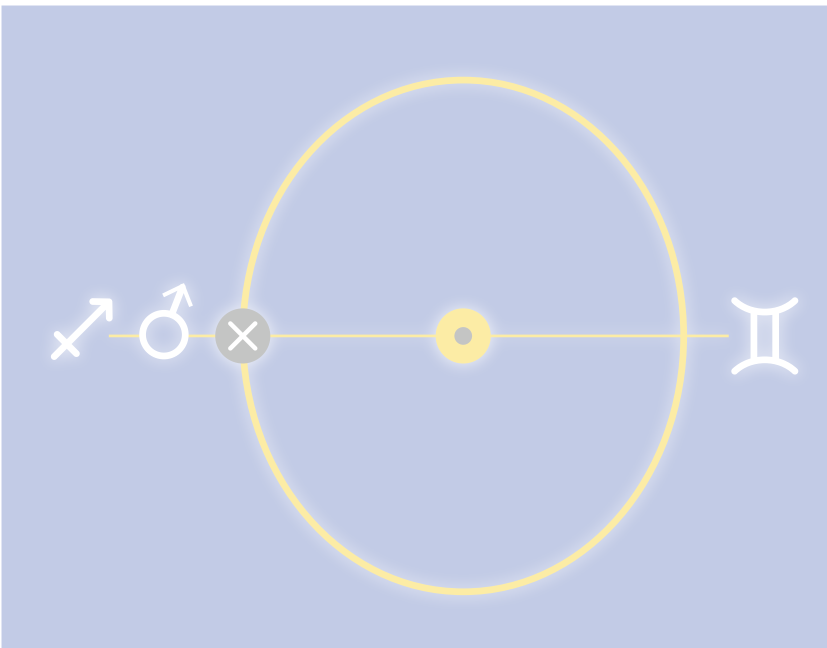


Figura 5. Posiciones de la Tierra, Marte y el Sol, con respecto a las estrellas fijas para el primer paso.

Fuente: elaboración propia.

Aquella línea constituye el sistema de referencia fijo de Kepler, que le permitió observar el movimiento de la tierra en el tiempo, mediante el análisis de los triángulos que podía trazar a partir de los dos cuerpos observados, el Sol y Marte, desde la Tierra, cuyos ángulos varían en el tiempo.

Hasta aquí llega la descripción de Einstein de los pasos que siguió Kepler para determinar la órbita de los planetas. El paso crucial sería, entonces, hacer los cálculos y ver por sí mismo si era posible demostrar esto siguiendo esos pasos (8). Durante este proceso observamos que, para dar los pasos descritos por Einstein, se requerían conocimientos previos adicionales: geometría plana, analítica y astronomía.

Estos conocimientos son necesarios para deducir las triangulaciones y encontrar los ángulos de estos triángulos, lo que permitiría resolver el problema. De forma que el ángulo del Sol quedaría definido a partir de la posición del sol, observada desde la tierra, y la posición de la línea imaginaria establecida previamente en la foto celeste. El ángulo de la tierra se obtendrá de la resta de las medidas de las posiciones del Sol y Marte, medidas desde la Tierra. Y a partir del conocimiento de dos ángulos de un triángulo, puede determinarse el tercer ángulo mediante el teorema la suma de los ángulos interiores de un triángulo. De esta manera se tienen todas las piezas del rompecabezas y es posible establecer la variación de la distancia Tierra-Sol en el tiempo, en proporción a esta distancia fija, construyendo geométricamente la órbita de la tierra, sin necesidad de los valores numéricos de las distancias.

Para hacer nuestra propia demostración, se escogió una de las fechas en que el Sol y Marte están alineados: el 14 de junio del 2001. Los datos de las posiciones de Marte y el Sol fueron tomados de las efemérides suizas (9), para cada fecha escogida; las otras fechas corresponden a uno y dos años marcianos (687 días terrestres) anteriores al 14 de junio del 2001 (Figura 6) (10). Conociendo las posiciones del Sol y Marte con respecto a las estrellas fijas, medidas desde la tierra para el 28 de julio del 1999 (Figura 7), se calculó el ángulo de la tierra (t).

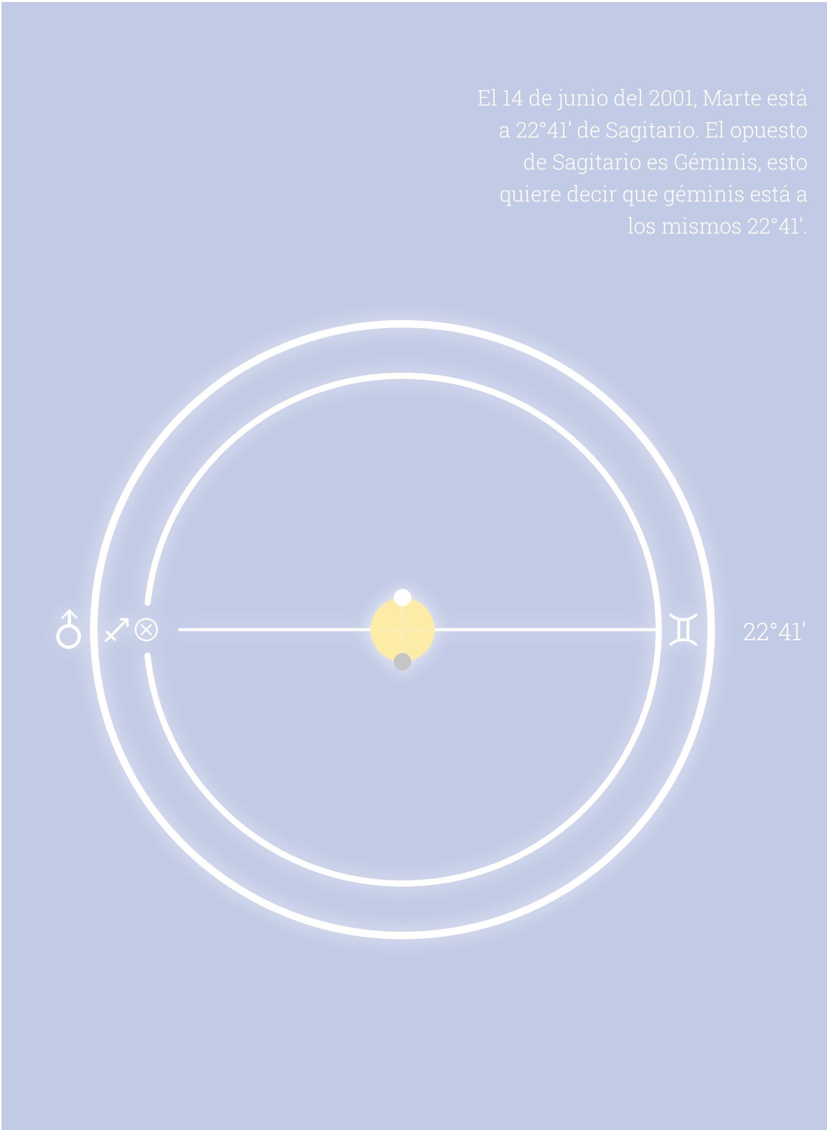


Figura 6. Alineación entre Marte, la Tierra y el Sol.

Fuente: elaboración propia.

A partir de la dirección de la recta descrita por el Sol y Marte respecto a las estrellas fijas, fue calculado el ángulo del Sol (s) y, mediante el teorema la suma de los ángulos interiores de un triángulo, se obtuvo el ángulo de Marte (m).

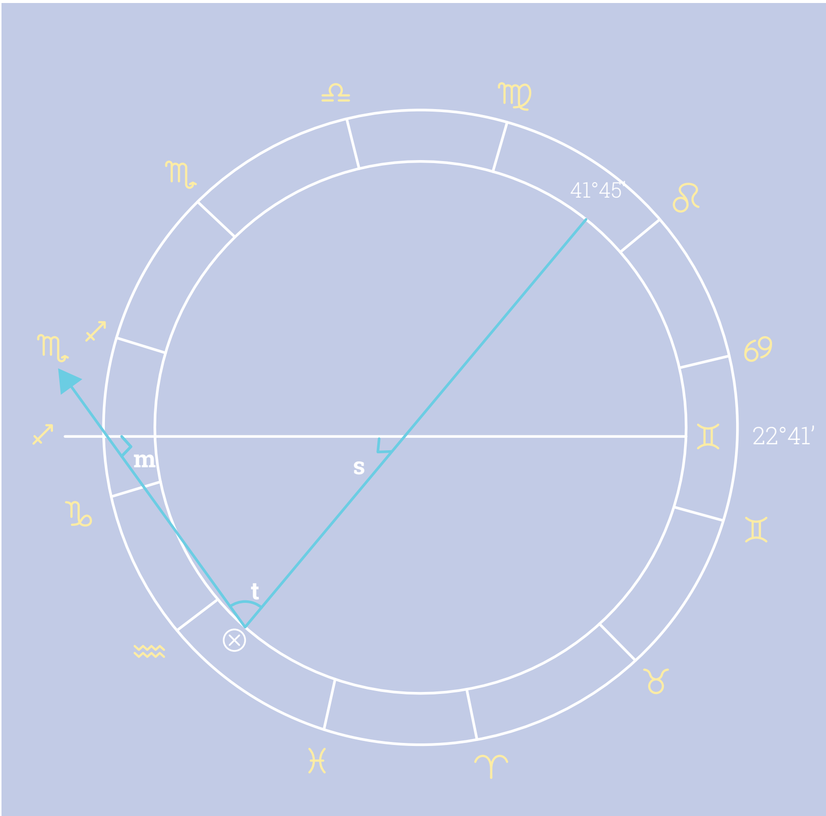


Figura 7. Triangulación a partir de los datos de Marte y el Sol del 28 de julio de 1999.

Fuente: elaboración propia.

El paso siguiente fue utilizar el teorema del seno para obtener la distancia Sol–Tierra, en términos de la distancia Sol–Marte, la cual permanece fija para cada una de las fechas escogidas. Para ello, se consideró que la distancia Sol–Marte equivale a una unidad (1U). Sin embargo, esto no era suficiente: debían tomarse las posiciones de Marte y el Sol de otro año marciano, fecha correspondiente al 9 de septiembre de 1997 (Figura 8). De esta manera, se obtienen dos puntos, cuyas coordenadas son una distancia (la distancia Sol–Tierra) y un ángulo (el ángulo t), por lo que se utilizó el sistema de coordenadas polares.

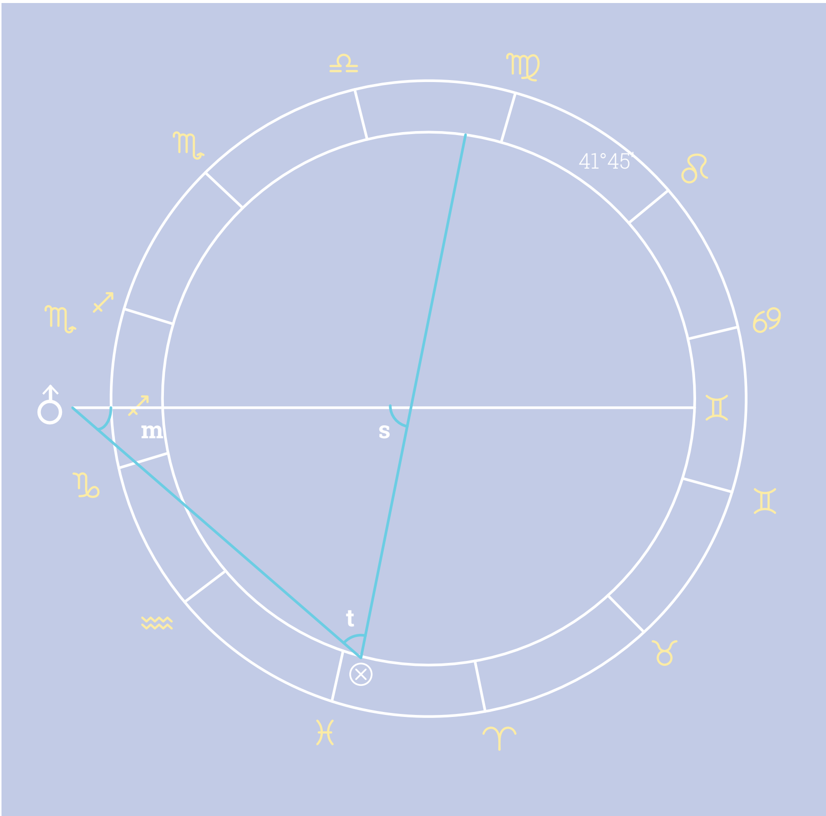


Figura 8. Triangulación a partir de los datos de Marte y el Sol del 9 de septiembre de 1997.

Fuente: elaboración propia.

Ahora bien, como el propósito era hallar la órbita terrestre y, sabiendo ya que es una elipse, se utilizó la ecuación de la elipse en coordenadas polares (Ecuación 6. Elipse en coordenadas polares).

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1 - \mathrm{e}\cos(\theta)} \qquad (6)$$

Entonces, teniendo los dos puntos coordenados, hacemos que estos dos puntos pertenezcan a la elipse, por lo que se obtiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$r_1 = \frac{a(1-e^2)}{1 - \mathrm{e}\cos(\theta_1)} \qquad (7)$$

$$r_2 = \frac{a(1-e^2)}{1 - \mathrm{e}\cos(\theta_2)} \qquad (8)$$

Donde:

r_1 y r_2 son la distancia la distancia Sol–Tierra.

θ es el ángulo t.

a y e son la distancia media de la tierra al Sol y la excentricidad, respectivamente, cuyos valores son los que se desea calcular.

Para solucionar este sistema, se despejó **a** de ambas ecuaciones y se igualaron estas expresiones, y de esta forma se halló la siguiente expresión para la excentricidad **e**:

$$\mathrm{e} = \frac{\mathrm{r}_1 - \mathrm{r}_2}{(\mathrm{r}_1\cos(\theta_1) - \mathrm{r}_2\cos(\theta_2))}$$

A partir de la cual se halló el valor de esta incógnita, el cual fue de 0,01, y al tomar este valor y llevarlo a una de las expresiones halladas para **a**, se halla el valor de la segunda incógnita con lo que queda solucionado el sistema de ecuaciones, y definida la ecuación de la órbita de la Tierra:

$$\mathrm{r} = \frac{0{,}687\ (1-(0{,}01)^2)}{1-(0{,}01)\cos(\theta)}$$

Al comparar con los valores reales de la elipse terrestre se establece que para la excentricidad hay una diferencia de 0,007, pues el valor conocido es 0,017; mientras el valor de la distancia media es de 0,655. Todo esto revela la validez de la metodología desarrollada (Figura 9).

1. Encontrar una fecha en la que el **sol y marte** están alineados y en dirección opuesta respecto a las estrellas fijas vistos desde la tierra, ver figura 6 (deber ser cuando marte se encuentra en el medio cielo terrestre). Se escogió como fecha de alineación el 14 de julio de 2001.

2. A partir de la fecha de alineación se tomaron las posiciones de marte y el sol de las efemérides correspondientes a un año marciano, es decir 687 días terrestres aproximadamente, antes o después de esta fecha.

9 de septiembre de 1997

♂ (marte) 16°25´♏ (escorpión)

Antes

14 de junio 2001

♂ (marte) 22°41´♐ (sagitario)

Alineación

28 de julio de 1999

♂ (marte) 9°24´♏ (escorpión)

Después

♂ está a 22°41´de ♐ y el opuesto de ♐ es ♊ (géminis) entonces, ♊ está a 22°41´ (Alineación). Hay que poner la posición de marte en grados para realizar las operaciones de suma y resta en grados. Esto quiere decir que 22°41´= 22,75°.

Datos claves para la triangulación del 28 de julio 1999.

Para hallar el ángulo del sol:

- ☼ (sol) está a 4°30´♌ (leo) = ☼ 4,5°♌

Ahora ¿Cuánto le falta a géminis para llegar al signo de ♋(cáncer), si este se encuentra a 22,75°?

Respuesta: 7.25°

Como el objetivo es llegar al ángulo y signo en el que está el sol, nos falta sumar los 30,0° ♋ y el ángulo del sol que está a 4,5° ♌. La suma de todos los ángulos da 41,75°, tal y como se puede observar en la imagen.

3. Para hallar el ángulo de ♂ (marte), se aplicó el teorema de tales.

Teorema de Tales: la suma de los tres ángulos (∡) interiores de un triángulo plano es igual a dos ángulos rectos.

$$\measuredangle s + \measuredangle t + \measuredangle m = 180°$$

$$\measuredangle m = 180° - (\measuredangle s + \measuredangle t)$$

$$\measuredangle m = 180° - (41{,}75° + 94{,}9°)$$

$$\measuredangle m = 180° - 136{,}65°$$

$$\measuredangle m = 43{,}35° \cong 43°21'$$

Siendo, m: marte, t: tierra y s: sol.

4. A continuación, se aplica el teorema del seno para hallar la distancia sol- tierra en términos de la distancia sol-marte, que permanece fija para cada uno de los momentos que se toman. Tomando como unidad de longitud la distancia sol-marte, tenemos que la expresión para la distancia sol-marte:

$$Sol - tierra = \frac{Sen\ m}{Sen\ t}$$

$$Sol - tierra = \frac{Sen\ 43{,}35°}{Sen\ 94{,}9°}$$

$$Sol - tierra = 0{,}689$$

5. Los cuatro pasos anteriores se realizan para las posiciones del sol y marte del 9 de septiembre del 1997, de esta forma se obtiene dos pares ordenados para el plano polar, cuyas coordenadas son (r, θ), donde r es distancia media sol-tierra, en términos de la distancia sol-marte; θ es el ángulo del sol (s).

Ángulo del sol: 84,3°

Ángulo de la tierra (t): 60,4°

Ángulo de marte (m): 35,883°$\cong 35°53'$

Distancia sol-tierra: 0.676

6. A continuación, se utilizó la fórmula para la elipse en coordenadas polares.

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1-ecos\theta} \quad Ecuación\ 1$$

Evaluando la ecuación 1, en cada uno de los pares ordenados en el plano polar, obtenemos como resultados un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, ***a*** y ***e***, donde ***a*** es la distancia media de la tierra y ***e*** la excentricidad.

$$r_1 = \frac{a(1-e^2)}{1-ecos\theta_1} \quad Ecuación\ 1.1$$

$$r_2 = \frac{a(1-e^2)}{1-ecos\theta_2} \quad Ecuación\ 1.2$$

Despejamos de ambas ecuaciones a y por el método de igualación hallamos e en términos de las dos coordenadas, así:

$$\frac{r_1(1-ecos\theta_1)}{1-e^2} = \frac{r_2(1-ecos\theta_2)}{1-e^2}$$

$$r_1(1-ecos\theta_1) = r_2(1-ecos\theta_2)$$

$$r_1 - r_2 = e(r_1cos\theta_1 - r_2cos\theta_2)$$

$$e = \frac{r_1 - r_2}{(r_1cos\theta_1 - r_2cos\theta_2)} \quad Ecuación\ 1.3$$

$$a = \frac{r_1\left(1 - \frac{r_1 - r_2}{(r_1cos\theta_1 - r_2cos\theta_2)}cos\theta_1\right)}{1 - \left(\frac{r_1 - r_2}{(r_1cos\theta_1 - r_2cos\theta_2)}\right)^2} \quad Ecuación\ 1.4$$

7. Finalmente la ecuación 1.3 y 1.4 es sustituida en la ecuación 1, para obtener así la ecuación de la elipse que describe la tierra alrededor del sol.

Figura 9. Esquema de los pasos seguidos para el desarrollo de la metodología de Kepler para hallar la órbita de la Tierra.

Fuente: elaboración propia.

Al final de este proceso, se logró determinar que la excentricidad (e) de la órbita terrestre es 0,01 y el valor del radio medio de la distancia Tierra–Sol es 0,687 (los valores registrados oficialmente para estas dos medidas son 0,017 y 0,655, respectivamente). Este valor tan pequeño de excentricidad muestra por qué durante mucho tiempo se esperaba que las orbitas planetarias correspondieran a la circunferencia, cuya excentricidad es cero, es decir, muy cercano a 0,01, lo cual es significativo, sobre todo, si hablamos de una elipse de magnitudes celestes.

El tipo de razonamiento que se evidencia en el diagrama de flujo muestra el determinismo en el proceso de hallar la solución. El determinismo fue el programa oficial de la ciencia por varios siglos; sin embargo, esto cambió con la aparición de teorías que abordan los fenómenos desde una perspectiva acausal e indeterminista, como la mecánica cuántica, la teoría del caos y la mecánica estadística (11-14).

EXPERIMENTOS MENTALES EN LA FÍSICA

Los experimentos mentales son rutas de la imaginación, usados para investigar la naturaleza de las cosas. En la mayoría de los casos, se trata de un razonamiento lógico, sobre un experimento no realizable, pero cuyas consecuencias pueden ser exploradas por la imaginación, con o sin ayuda de la física o las matemáticas. Para ello, normalmente se utiliza un escenario imaginado, que contribuye a comprender cómo ocurre un acontecimiento determinado.

Este escenario puede ser real o imaginado, pero debe ser posible experimentarlo por medio de algún sentido. También existen experimentos mentales en matemáticas y física. Entre estos, podemos citar la paradoja de Aquiles y la tortuga, propuesta por Zenón de Elea; el Hotel infinito, de David Hilbert; la paradoja de los gemelos, de Albert Einstein, o bien el gato de Schrödinger, entre otros (15-16).

La paradoja de Aquiles y la tortuga

Esta paradoja fue propuesta por el filósofo griego Zenón de Elea, quien vivió en 495-435 a. C. y se enuncia de la siguiente manera:

> un corredor, que siempre ha de recorrer la mitad de una distancia, antes de recorrer la distancia total, jamás podrá alcanzar la meta.

Explicación:

Supongamos que el corredor se ha propuesto recorrer una distancia de una unidad (1U) cualquiera, cuyos extremos son 1 y 0 y empieza en la posición 1.

En la primera situación, recorre la mitad, es decir, la que va de 1 a 1/2. Luego, de la distancia 1/2 a 0, recorre la mitad, es decir 1/4. En total ha recorrido: 1/2+1/4 (=3/4). Después, recorre 1/8 adicional, de modo que el total que ha recorrido es 3/4+1/8 (7/8). Procediendo de ese modo, en la enésima situación, nuevamente, recorre la mitad de la distancia anterior y el total recorrido (TR) es la suma: 1/2+1/4+1/8+1/16+...+1/2n (donde *n* corresponde al enésimo movimiento de la tortuga).

Zenón afirmaba que "el corredor jamás llegaría a la meta" debido a que TR<1 para todo *n*; es decir, p*or más cerca que estuviese de la meta, siempre debería recorrer la mitad de la distancia faltante.* Este razonamiento tiene dos valores de verdad (por esto es una paradoja):

1. Nunca llega porque TR<1, siempre.
2. Sí llega porque el tiempo no se detiene.

Paradoja del hotel infinito

Esta paradoja fue propuesta por el matemático prusiano David Hilbert (1862-1943) y se enuncia de la siguiente manera:

Un grupo de empresarios decidió construir un hotel. De hecho, quieren construir el hotel más grande del mundo. Uno de ellos propone construirlo con 1000 habitaciones, pero lo rechazan porque alguien podría construir uno con 2000 y ese sería más grande. El primero volvió a proponer un número, en este caso, 100 000 habitaciones; pero volvió a ser rechazado, pues alguien podía construir un hotel de 200 000 habitaciones y, entonces, ya no sería el hotel más grande. Así las cosas, el empresario hace su última propuesta: "Construyamos un hotel con infinitas habitaciones" (Figura 11). Fue tanta su popularidad, que el hotel se llenó pronto.

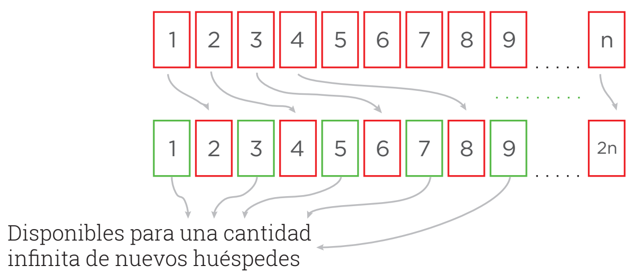


Figura 11. Esquema del hotel infinito de Hilbert.

Fuente: elaboración propia.

Al poco tiempo, llegó una persona pidiendo una habitación. El recepcionista le dijo que, aunque el hotel estaba lleno, podrían desocuparle una habitación; y que solo tenía que esperar a que los restantes clientes se cambiaran de habitación.

El recepcionista llamó todos los huéspedes y les pidió que miraran en el número de su habitación y se mudaran a la habitación un número mayor. Es decir, por ejemplo, el huésped de la habitación 23 pasaría a la 24 y, en general, el de la habitación n pasa a la *n+1*.

Como el hotel tiene infinitas habitaciones, siempre va a ser posible ocupar una habitación de número mayor. Así la primera habitación quedaría libre y el nuevo cliente tendría donde dormir.

Ahora, supongamos que llega un número *k* personas (*k*, desde luego, es un número natural) y preguntan por habitaciones disponibles. Esta vez, el encargado puede liberar *k* habitaciones, de la siguiente manera: hace que el ocupante de la habitación con número *n* se mude a la de número *n+k*. Esto para todos los números n naturales, de modo que se liberan los cuartos correspondientes a los números 1 hasta *k*.

Ahora bien, ¿qué pasa si de repente llega un autobús con un número infinito pero numerable de personas que desean hospedarse en el hotel?

En este caso, el encargado mueve a cada ocupante de la habitación *n* a la habitación *2n* (con *n* que varía desde 1 hasta infinito). Es decir, el ocupante de la habitación 1, pasa a la 2; el de la 2 a la 4; etc. Así, se liberan todos los cuartos impares, que son infinitos. De modo que ya pueden hospedarse todos los recién llegados. Es importante observar que al final todas las habitaciones quedan ocupadas de nuevo.

Ahora pues, supongamos que llega una cantidad infinita pero numerable de autobuses y que cada uno de ellos tiene una cantidad infinita de solicitantes de habitaciones. Así, surge de nuevo la pregunta sobre cómo debe hacer el recepcionista para hospedarlos a todos.

Para resolver este nuevo problema en el hotel, consideremos primero los números primos (solo divisibles por sí mismos y por la unidad), recordando que son infinitos y que los primeros números son 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17…, entre otros.

Volviendo al problema de encontrar habitaciones para los solicitantes. El encargado mueve el ocupante de la habitación con número n a la de número 2^n (2 a la enésima potencia). De esta forma, todas las habitaciones cuyo número es una potencia de 2 pasan a estar ocupadas; mientras las que no lo son pasan a estar desocupadas.

Ahora, arriba al hotel el primer autobús. Al k-ésimo pasajero de ese autobús, que tiene un número infinito de pasajeros, se le asigna la habitación cuyo número es 3^k. Ahora todas las habitaciones cuyo número es una potencia de 3 pasan a estar ocupadas.

Cuando arriba el segundo autobús, al k-ésimo pasajero de ese autobús se le asigna la habitación número 5^k. Se procede del mismo modo para el pasajero k-ésimo del tercer autobús: se le asigna la habitación 7^k.

Como puede observarse, hasta ahora todas las habitaciones cuyos números son potencias de 2, 3, 5 y 7 están ocupadas. Este proceso se continua con los otros números primos.

En resumen, al k-ésimo pasajero del i-ésimo autobús se le asigna la habitación cuyo número es p^k, donde p es el primo en la posición i-ésima de la sucesión 2, 3, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23...

Es importante observar que, al final de este proceso, se tendrá un número infinito habitaciones vacías que permitirán alojar a los infinitos nuevos huéspedes del hotel. Por ejemplo, el cuarto cuyo número es 15 queda vacío, ya que 15 (=3×5) no es potencia de ningún primo.

La paradoja es la siguiente: empezamos con un hotel lleno; llegó un número infinito de autobuses con un número infinito de pasajeros cada uno. Pero, luego de realizar la operación descrita, se termina hospedando a todos los solicitantes que llegaron y el hotel acaba teniendo un número infinito de cuartos vacíos.

La paradoja de los gemelos

Esta paradoja fue propuesta por el físico alemán Albert Einstein y se enuncia de la siguiente manera:

Consideremos dos gemelos idénticos, Albert y Henry; sus relojes biológicos comienzan a marchar de forma sincronizada. Henry decide viajar a la velocidad de la luz. Si pudiera comparar su reloj con el de Albert, le parecería que el reloj de este se atrasa. En cambio, sí Albert pudiera comparar su reloj con el de su hermano, encontraría que el que se atrasaba es el de Henry.

Esto representa una paradoja, pues ¿cómo es posible que cada uno de los dos relojes pueda funcionar más lento que el otro?, ¿qué sucederá cuando ambos gemelos se reencuentren?

Supongamos que Henry viaja 10 años luz, a la velocidad de la luz, luego de lo cual regresa a la Tierra recorriendo otros 10 años luz, a la misma velocidad. Para Albert, habrán transcurrido 20 años, cuando vuelva a ver a su hermano. Es decir, habrá envejecido 20 años. En cambio, para Henry la situación es otra: él habrá envejecido apenas un par de meses.

La paradoja del gato de Schrödinger

Imaginemos un gato dentro de una caja completamente opaca. En su interior se instala un mecanismo que une un detector de electrones a un martillo. Justo debajo del martillo, un frasco de cristal con una dosis de veneno letal para el gato. Si el detector capta un electrón, activará el mecanismo, haciendo que el martillo caiga y rompa el frasco.

Se dispara un electrón. Por lógica, pueden suceder dos cosas. Puede que el detector capte el electrón y active el mecanismo. En ese caso, el martillo cae, rompe el frasco y el veneno se expande en el interior de la caja; el gato lo inhala y muere.

Al abrir la caja, encontraremos muerto al gato. O puede que el electrón tome otro camino y el detector no lo capte, con lo que el mecanismo nunca se activará, el frasco no se romperá, y el gato seguirá vivo. En este caso, al abrir la caja el gato aparecerá sano y salvo.

Hasta aquí todo es lógico. Al finalizar el experimento veremos al gato vivo o muerto. Y hay un 50 % de probabilidad de que suceda una cosa o la otra.

Pero la cuántica desafía el sentido común. De acuerdo con Schrödinger, en términos cuánticos debemos afirmar que antes de abrir la caja el gato está simultáneamente muerto y vivo.

EXPERIMENTOS MENTALES Y CREATIVIDAD

Estos ejemplos evidencian que los experimentos mentales son mucho más que una forma de ejemplificar algún punto especial o generar incertidumbre, al romper el curso normal del pensamiento. Un experimento mental es un potente acto creativo que, en muchas ocasiones, ha sido para sus creadores un punto básico para comprender o arrojar luz sobre un problema, en el que la evidencia empírica es insuficiente, inaccesible o innecesaria. Es uno de los mejores ejemplos frente al hecho de que la sola recopilación de información empírica nunca va a dar las respuestas, sino que es necesario un esfuerzo sistemático de pensamiento dirigido, para llegar a comprender los problemas. Por esta razón, los experimentos mentales no son hechos por novatos: por el contrario, tal como muestran los ejemplos, son realizados por personas que conocen profundamente los problemas a los que se enfrentan. Este bagaje les da el contexto necesario para repensar los problemas desde una perspectiva única e inesperada, con lo cual rompen las rutas de pensamiento tradicional, para poder ver algo nuevo.

***INSIGHT*: LOS HALLAZGOS DE BERNARD LONERGAN**

Bernard Lonergan (1904-1984) fue teólogo canadiense, autor de *Insight*: *estudio sobre la comprensión de la experiencia,* obra publicada originalmente en 1957 (18). Dentro de los propósitos de su obra, puede resaltarse que es un libro que ayuda a consumar una apropiación personal de la estructura dinámica, concreta e inmanente, que opera de manera recurrente en las propias actividades cognoscitivas. Asimismo, es una invitación al lector a ejercer un acto personal decisivo.

El acto de intelección

El autor argumenta que el acto de intelección no es cualquier acto que solo proviene de la atención, la advertencia o la memoria, sino que también puede ser un acto de comprensión que sobreviene inesperadamente. Adicionalmente, no se trata solo de una actividad mental, sino que también hace parte del conocimiento humano, de lo cual se sigue que el acto de intelección ocurre sobre el acto de interacción.

Como puede apreciarse, en la solución de un problema engorroso y la solución evidente, la diferencia, por tanto, radica en los actos de interacción y las ideas claras y distintas (consideradas la fuente del trabajo de René Descartes). En esa perspectiva, el acto de la intelección sobre el acto de la interacción sería la fuente de la idea clara y distinta. Desde la perspectiva kantiana, todo acto de intelección es a la vez ***a priori*** y sintético (19). La intelección es ***a priori*** porque va más allá de la simple sensación o la consecuencia empírica; sintética, porque añade a lo meramente dado una unificación y organización explicativa, de lo cual parece seguir el acto de la interacción. En efecto, ambos aspectos hacen parte de nuestra actividad cognoscitiva. Ilustramos estas ideas con el ejemplo del descubrimiento del principio de Arquímedes, que Lonergan expone es su trabajo.

La obra de Lonergan se encuentra divida en dos partes, las cuales fueron dispuestas para dar respuesta a estas dos preguntas: ¿qué sucede cuando estamos conociendo?, y ¿qué es lo que conocemos? La primera parte del libro podría reducirse a un conjunto de definiciones y aclaraciones, pues desde un punto de vista lógico el primer juicio que ocurre en toda obra es el juicio de la autoafirmación, siempre que no se presente un problema psicológico. Sin embargo, el problema psicológico existe en el ser humano a través de las diversas formas de conocimiento, que existen sin dirección y en confusión, hasta que son distinguidas explícitamente y las implicaciones de la distinción son reducidas de manera explícita.

El acto de intelección en las matemáticas

Hierón II de Siracusa planteó a Arquímedes (ca. 287-212 a. C.) el problema de saber si la corona hecha por un orfebre era, en efecto, del oro que él le había entregado. Aunque de entrada Arquímedes no pudo resolver el problema, la solución surgió en el momento que el matemático se sumergió en su bañera.

Cuando Arquímedes llegó a la respuesta pasó por un estado de liberación de la tensión que la indagación le había causado. Vale la pena resaltar, no el gozo que le generó la respuesta, sino el deseo y el esfuerzo que antecede a su revelación, los cuales se pueden describir de en los siguientes términos:

1. Hay una indagación del problema, que tiende a conocer, a aprender, hallar la causa y a explicarlo. Durante este proceso, la persona puede quedar cautivada por horas, días o años, dentro de un cuarto de su estudio o un laboratorio. En otras palabras, lo puede apartar de las cosas habituales y llevar a sacrificios que acepta sin lamentarse, aunque no haya más que una esperanza.
2. Arquímedes llego a la solución de forma intempestiva, en una ocasión trivial, en un estado placentero. Este acto de intelección muestra que la respuesta llegó en el momento que no estaba aprendiendo reglas ni estudiando. Esto quiere decir que el acto se da porque se desdeña las rutinas concebidas que, en el caso de existir reglas para llegar a los descubrimientos, implicaría que los descubrimientos serían meras conclusiones.
3. El acto de intelección, contrario a lo que se espera, ocurre en función no de circunstancias externas sino internas. Para ilustrar esto, vale considerar el número de personas que frecuentaban los baños de Siracusa, las cuales apenas sintieron el agua y el estado en que se encontraba (caliente o fría), sin pensar en otra cosa. Es decir, hay una diferencia marcada entre acto de intelección y la sensación. Esto muestra que el acto de intelección depende de una capacidad innata, que ocurre en un estado de alerta constante, además del planteamiento exacto del problema.

4. El problema de Arquímedes era concreto y exigía una respuesta concreta, la cual consistió en pesar la corona dentro del agua. Ahora el punto esencial del procedimiento fue en el momento que se realizaron las formulaciones abstractas de los principios de desplazamiento y del peso específico. En efecto, lo anterior puede entenderse como un acto de intelección dentro del mundo concreto de los sentidos y la imaginación.
5. Antes de que la respuesta llegara, Arquímedes pasó por un estado de inspiración. Los momentos en que parecía insoluble el problema ahora se convierten increíblemente en simple y obvio. Luego de pasar por un proceso laborioso y de mucho esfuerzo, los actos de intelección son consecuentes y se dan casi a voluntad, siempre que el nuevo acto de intelección no sea excluyente, sino que, al contrario, complemente y se combine con el acto de intelección inicial.
6. El análisis de Lonergan del proceso de Arquímedes muestra cómo todo acto creativo que precede a la palabra *eureka* (o *insight*) se debe a un proceso, en cuya oscuridad, la poca luz que encontró fue muy bien utilizada para llegar a la respuesta.

En su obra, Lonergan analiza otros escenarios de forma rigurosa, pero, para los efectos que se propone el presente libro, se tomó el análisis del acto de intelección de Arquímedes con el fin de contextualizar el proceso llevado a cabo por el doctor Rodríguez en el momento de llegar a sus *insights*, los cuales son la base de las creaciones de sus metodologías desarrolladas en cardiología.

PENSAMIENTO LATERAL: EDWARD DE BONO

El psicólogo y escritor maltés Edward de Bono (20) ha desarrollado uno de los trabajos más interesantes en el tema de la creatividad, a partir de su análisis de los mecanismos de percepción y procesamiento de la información en el cerebro. Para comprender su trabajo, comenzaremos señalando que la percepción no es un fenómeno pasivo, sino que constituye la primera fase del proceso del pensamiento. Esta fase es muy importante y, en general, no era muy tenida en cuenta en el análisis de los procesos creativos.

Básicamente, el sistema nervioso constituye un sistema en el que la información que ingresa se autoorganiza, para conformar una serie de estados temporalmente estables, que constituyen secuencias específicas.

Estas secuencias constituyen pautas de pensamiento, a partir de las cuales cualquier nueva información que entra al cerebro comienza a ser interpretada dentro de estas pautas.

Estas pautas son sumamente importantes y útiles, porque, gracias a ellas, podemos reconocer las cosas. Si tuviéramos que analizar cada cosa que vemos como si fuera la primera vez que nos topamos con ella, la vida sería engorrosamente lenta y difícil. En su lugar las pautas nos permiten hacer lecturas rápidas sobre la realidad y comprenderla de manera prácticamente automática. Esto es lo que comúnmente denominamos "aprendizaje a partir de la experiencia". Sin embargo, conviene señalar que, por esta razón, el análisis de la información no nos aporta ideas nuevas, pues el cerebro solo puede ver aquello que está preparado para ver, es decir, las pautas que ya ha trazado.

La Figura 12 representa el esquema a partir del cual Edward de Bono presenta la forma en que las pautas de la percepción simplifican y dirigen la forma en que se comprenden las impresiones sensoriales.

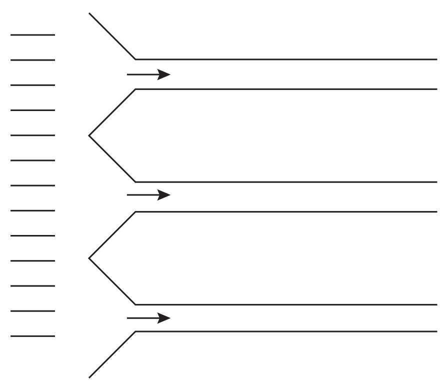


Figura 12. Esquema de la forma en que las pautas de la percepción simplifican y dirigen la forma en que se comprenden las impresiones sensoriales.

Fuente: elaboración propia a partir de E. de Bono (20).

A pesar de las magníficas ventajas de nuestro sistema perceptual, su descripción nos permite también ver sus limitaciones: básicamente veremos las cosas de la forma en que estamos acostumbrados e interpretaremos la realidad, de acuerdo con nuestra experiencia. En este sentido, el cerebro nos lleva a pensar siempre de las mismas maneras.

Al respecto de Bono presenta un ejemplo para comprender la importancia de la percepción: supongamos que estamos en una cocina que tiene todos los ingredientes necesarios para preparar el almuerzo. Ante esto, el lector tiene la tarea de dar los pasos necesarios para hacer su comida. Tiene múltiples herramientas para facilitar esta tarea y procesar los alimentos hasta que se conviertan en un almuerzo. Al parecer aquí estaría el lugar de la creatividad. Sin embargo, vale la pena que nos detengamos a pensar de dónde salieron los ingredientes, por qué se escogieron esos y no otros, quién los ha elegido y cómo se han cultivado, etcétera.

De manera análoga, la percepción es la encargada de producir los ingredientes para el procesamiento de la información, de los cuales depende el resultado final. Posteriormente, los sistemas de procesamiento de información se encargan de hacer lo suyo, pero dependen de la información que la percepción haya otorgado en primer lugar. Estos sistemas de procesamiento de la información son lo que se denomina *lógica* y ya están claramente establecidos. En palabras de nuestro autor (21, p. 108), es la percepción la que organiza el mundo expresándolo por medio de las *x* y las *y*, que luego procesaremos con las matemáticas. Es la percepción la que nos proporciona las observaciones o proposiciones que luego manipulamos con la lógica. Es la percepción la que nos proporciona las palabras y la elección de los vocablos con que podemos pensar acerca de cualquier cosa.

Lo realmente radical en el aporte de Edward de Bono sobre la creatividad está en que muestra que la creatividad ocurre en la fase perceptual del pensamiento, pues allí se forman los conceptos, de modo que allí es donde hay que cambiarlos.

En este punto, vale la pena comprender el concepto de *burbuja lógica* (Figura 13), que él define como el conjunto de percepciones de una persona, dentro de la cual actúa de manera totalmente lógica. Esto significa que, dentro de su horizonte perceptual, su razonamiento es perfectamente correcto. No obstante, si pudiera tener una visión más amplia, podría ver que tal vez su forma de pensamiento tiene errores. A continuación, justamente, mostramos un ejemplo de una burbuja lógica.

De acuerdo con la Figura 13, si usted está ubicado en el punto *x,* ¿cuál sería el camino más indicado para desplazarse hacia el norte?

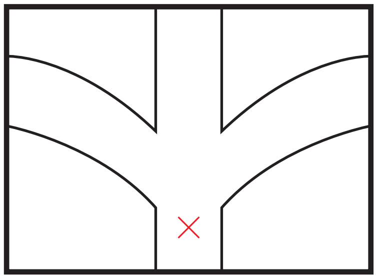


Figura 13. Ejemplo de una burbuja lógica.

Fuente: elaboración propia a partir de E. de Bono (21).

En este caso, la respuesta obvia es el camino que va directamente hacia el norte. Ahora bien, si vemos el mapa desde una distancia mayor (Figura 14), ¿qué resultado obtendremos? Ante esta nueva percepción, resulta claro que la ruta que habíamos escogido inicialmente es la menos indicada. Los límites de cada una de las imágenes presentadas son ejemplos de burbujas lógicas.

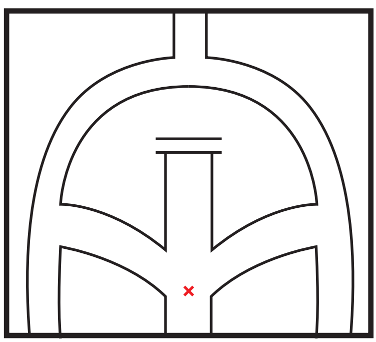


Figura 14. Imagen de burbuja lógica vista desde una distancia mayor.

Fuente: elaboración propia, a partir de E. de Bono (21).

Así las cosas, las preguntas que surgen ahora son las siguientes: ¿cómo es posible modificar verdaderamente las percepciones?, y ¿cómo puede darse realmente un acto creativo?

De acuerdo con de Bono, el humor es un ejemplo excelente de la forma como que pueden darse pensamientos que se salen de las pautas establecidas. Al oír un chiste, estamos escuchando una secuencia de información, acomodada dentro una pauta de pensamiento preestablecida. Sin embargo, en un momento particular, somos desplazados a una vía lateral que nos regresa al punto de partida de un nuevo camino. A modo de ejemplo tomaremos el siguiente chiste (Figura 15):

> Suena una alarma y dos ratones salen corriendo de un banco, con unas bolsas de dinero, se suben a su auto, aceleran, van a toda velocidad por la carretera. Detrás, va una patrulla de policía siguiendo a los ratones. Los ratones aceleran y, de un momento a otro, una llanta del carro de los ratones se pincha. Estos bajan rápidamente, van al baúl a sacar el gato para cambiar la llanta; sacan el gato y se los come (21, p. 58).

Figura 15. Ejemplo de chiste para analizar el proceso de vía lateral.
Fuente: elaboración propia.

En este chiste, la historia indica que la ruta usual de pensamiento es que, para cambiar la llanta, es necesario utilizar un gato. Como es lógico, todos tenemos en la mente el gato hidráulico; pero, de repente se da un salto y vamos a otra ruta de pensamiento, donde el gato ya no es el hidráulico sino el animal. Este salto es lo que nos sorprende y causa gracia. Esta nueva ruta puede comprenderse mejor observando la Figura 16.

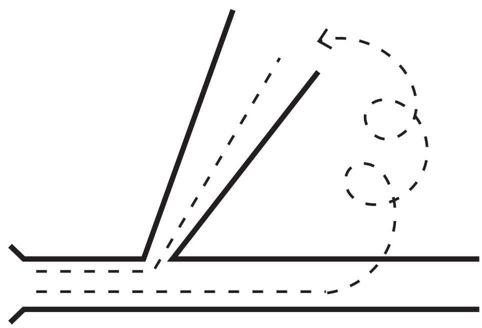


Figura 16. Forma gráfica de nueva ruta de pensamiento lateral.

Fuente: elaboración propia.

Este modelo de pauta asimétrica de pensamiento es el modelo que propone Edward de Bono para comprender la creatividad. Para ello, utiliza el concepto "pensamiento lateral". Conviene anotar que este modelo evidencia que estos pensamientos laterales solo serán lógicos *a posteriori.* Mientras el proceso de creación ocurre, estos pensamientos salen de nuestra lógica existente y solo posteriormente pueden ser considerados obvios.

Finalmente, surge la pregunta por la manera como esos saltos pueden darse. Para ello, de Bono ha desarrollado una serie de técnicas que incitan a la mente a romper las pautas de pensamiento, técnicas como la de los seis sombreros para pensar o la técnica *más-menos-interesante (MMI).* Esta última, consiste en analizar los puntos *más,* los puntos *menos* y los puntos *interesantes* de cualquier fenómeno, gracias a lo cual, la información disponible se reorganiza y reinterpreta. Del mismo modo, la técnica de los sombreros implica un cambio de perspectiva, de acuerdo con el sombrero que se use, pensando desde la cautela, el optimismo, la creatividad, la visión global o la neutralidad.

LAS RUEDAS DE LA CREATIVIDAD

En *Las ruedas mágicas de la creatividad,* Calos Rebate y Alicia Fernández (22) describen una serie de herramientas que abren la posibilidad de ser creativo. Son herramientas prácticas y útiles para interiorizar e integrar el pensamiento creativo a nuestra forma de pensar. En el prólogo, los autores invitan al lector a reflexionar sobre la influencia de la actitud individual y la disposición de cada persona para crear. A esto se suma, por un lado, la reflexión sobre admitir los riesgos de transformar nuestro entorno personal y profesional y, por otro, fomentar y alentar el pensamiento creativo como herramienta de crecimiento y motivación.

Una de las etapas donde hay un total desarrollo de la creatividad es la niñez, lo cual es evidente en los juegos infantiles. Considerando esto, a continuación, se presenta una descripción de qué trata cada una de las ruedas de la creatividad, pensadas como círculos concéntricos (Figura 17), que representan procesos conscientes, dispuestos de manera tal que al rotar y combinar cada una de ellas, envían mensajes al inconsciente, lo que ayuda a la transformación de la creatividad.

Figura 17. Círculos concéntricos que representan las generalidades de las ruedas de la creatividad.

Fuente: elaboracion propia, a partir de Rebate y Fernandez (22).

Primero debe realizarse una buena selección de pensamientos, ya que estos tienen una influencia poderosa sobre la persona. Conviene anotar que existen pensamientos constructivos y destructivos, que se ven reflejados en la percepción del mundo y en lo que una persona piensa de sí misma. La plasticidad del cerebro cree y actúa consecuentemente con lo que se piensa. Si se piensa de manera recurrente que se es creativo, este pensamiento se hará cada vez más grade; lo contrario también es cierto: si se piensas que no se es creativo, los actos de creatividad tenderán a desaparecer.

El primer paso consiste, entonces, en elegir los pensamientos correctos, que confieran el poder a la persona de ser su propio arquitecto. Una mente cultivada confiere un control de los pensamientos; mientras una mente no cultivada y pasiva dejar las puertas abiertas para que sea el azar o las consecuencias las que decidan en su vida.

El paso siguiente es encontrar el modo de conectar los pensamientos consientes de la mente con la parte inconsciente. Los autores del libro afirman que la mente inconsciente tiene la capacidad de adoptar los pensamientos consientes como conceptos válidos y se pone en la tarea de buscar la mejor respuesta.

Estilos de pensamiento

En su estudio, Rebate y Fernández (22) sostienen que existen cuatro estilos de pensamiento (Figura 18), pero que uno es preferente. En el cerebro, este pensamiento preferente implica el consumo de más de 100 veces la cantidad de oxígeno circulante y se manifiesta como cansancio, agotamiento y frustración. Por eso, es importante conocer estos cuatro estilos de pensamiento y, de esta manera, escoger, cuanto antes, un cambio del pensamiento preferente.

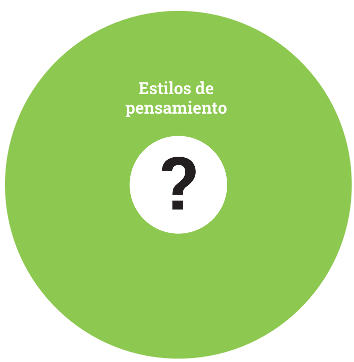


Figura 18. Círculo de estilos de pensamiento.

Fuente: elaboración propia a partir de Rebate y Fernandez (22).

Los cuatro estilos de pensamiento se corresponden con los cuatro cuadrantes del cerebro: el frontal derecho (FD), el frontal izquierdo (FI), El basal izquierdo (BI) y el basal derecho (BD). En términos generales, estos cuatro cuadrantes se centran en el todo; y las partes, en el mantenimiento del orden y la armonía. El paso que debe darse es poner la voluntad para cambiar el estilo de pensamiento preferente en la dirección de nuevos estilos de pensamiento. La voluntad es el ingrediente esencial para poner a girar la primera rueda, lo cual implica dirigir la imaginación en un sentido u otro.

Finalmente, los autores resaltan el poder de la metáfora en el cuadrante frontal derecho, por su capacidad de evocar de manera inmediata una idea o un concepto. Adicionalmente, activa el hemisferio derecho, con lo cual estimula el pensamiento lateral y logra comunicar gran cantidad de significados mediante una simple palabra o imagen. Las metáforas son el medio para implantar una idea directamente en el inconsciente, debido a que genera un ambiente agradable y una memoria que tiene la capacidad de recordar y nombrar un concepto, completo e intuitivo. En este orden de ideas, el paso siguiente dentro de esta rueda es comenzar a diseñar metáforas.

Los cinco sentidos son los protagonistas de la segunda rueda (Figura 19). A partir de ellos, se conoce el mundo que nos rodea y son el medio para crear nuevos espacios. El proceso creativo que puede desarrollarse a partir de los sentidos implica un proceso previo de perfeccionamiento de estos. Recordar mediante los sentidos es la técnica que los autores proponen practicar.

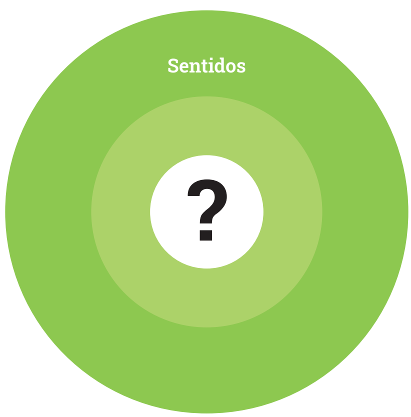


Figura 19. Círculo de los sentidos.

Fuente: elaboración propia a partir de Rebate y Fernandez (22).

Plan creativo

Los planes y las estrategias son los procesos mediante los cuales se puede acceder a otros mundos. Las planificaciones y los planes sistemáticos llevados a cabo por los autores los han llevado a procesos considerados cada vez más sólidos en la comunidad científica nacional e internacional.

Los autores de *Las ruedas mágicas de la creatividad* reafirman lo anterior en cuanto a los planes que permiten poner en marcha un plan creativo. Este plan consiste en la formulación de una pregunta creativa que orientará los pensamientos y establecerá la combinación entre elementos que se reúnen alrededor del objeto de búsqueda. La clave de esta técnica radica, primero, en la posibilidad de conducir el pensamiento en una dirección determinada y, segundo, en la activación del pensamiento lateral para que abra caminos y combinaciones alternativas de nuestra forma pensar.

Al contar con un ramillete de posibilidades de disparar los pensamientos, el cerebro tendrá la posibilidad de elegir el canal de comunicación dirigido a los pensamientos inconscientes. En efecto, el pensamiento consiente llega a un resultado único y original, lleno de posibilidades de abrir nuevos espacios y cambiar a voluntad la dirección del pensamiento, con lo cual se escapa de las soluciones tradicionales.

La imaginación: llave que hace girar la cuarta rueda de la creatividad

El poder de la imaginación no se enseña en la escuela. En cambio, en la niñez es un acto muy practicado durante los juegos. Autores como Napoleón Hill atribuyen al poder de la imaginación, acompañada con la concentración, una cualidad que puede potencializarse con la práctica. Hill afirma que sin la imaginación los pensamientos consientes no reciben el impulso necesario que se cristaliza en una acción (23,24).

Según Rebate y Fernandez, un estereotipo "es un modelo, una dirección en la que orientar nuestra forma de pensar" (Figura 20). Los pensamientos habituales se transforman con la aplicación de estereotipos. La pregunta que permite aplicar un estereotipo es: ¿qué harías si fuera...? o ¿cómo sería el concepto *x* si se pareciera al concepto *y*?

La primera pregunta es una relación estereotipo-persona. La segunda es una relación estereotipo-cosa. Un ejemplo de la primera es *cómo sería si,* de forma consciente, pensamos usando la filosofía de la persona que hemos elegido para ser el estereotipo. Consiste también en observar las reglas de pensamiento que sigue la persona estereotipada, para intentar ver el mundo con esa "lente", y orientar de manera distinta nuestro pensamiento. La segunda relación puede entenderse a partir de los seis sombreros de Edward de Bono. El proceso consiste en concentrar nuestra mente en un único tipo de pensamiento, representado a través de un tipo de sombrero. Así, ponerse el sombrero implica conducir el pensamiento de una manera determinada.

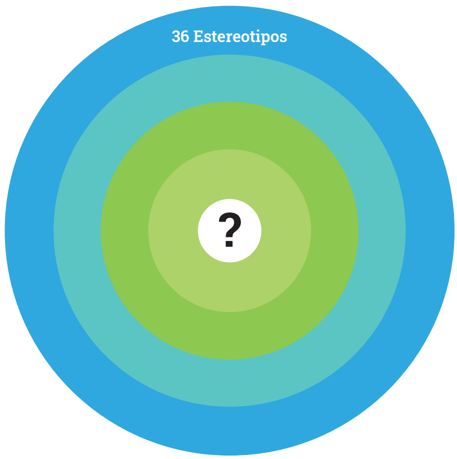


Figura 20. Círculo de los 36 estereotipos.

Fuente: elaboración propia a partir de Rebate y Fernandez (22).

Finalmente, los autores comentan que una persona cuenta con 12 240 combinaciones, las cuales son resultados de multiplicar *4 estilos × 5 sentidos × 17 técnicas × 36 estereotipos.* Con este amplio rango de posibilidades de ser creativo, el paso que debe darse es aplicar las técnicas propuestas en *Las ruedas mágicas de la creatividad.*

LIBRO *TÉCNICAS DE ÉXITO*

El éxito en cualquier campo de la vida requiere de la unión de una serie de factores, no solo de la creatividad. Específicamente para Rodríguez y sus colaboradores, su éxito creativo se ha visto sostenido por una serie de estrategias que se encuentran descritos extensamente en su libro *Estrategias de éxito para la formación científica y la producción de artículos* *basada en la experiencia. Recopilación basada en las prácticas pedagógicas de la línea de profundización e internado especial "Teorías físicas y matemáticas aplicadas a la medicina"* (25), el cual reseñamos brevemente a continuación, de modo que sirva como soporte de los procesos creativos que el lector quiera llevar a cabo a partir de este libro.

La primera clave es la aplicación de técnicas ya comprobadas para lograr el éxito, como las descritas por Susan Ford Collins (26) y Napoleón Hill (27). Las principales características de las obras de estos dos autores son los métodos que plantean, los cuales pueden servir para llevar a cabo proyectos, cambios y mejoras en la vida de las personas. Por ejemplo, una de las técnicas de éxito planteadas por Susan Ford es la realización de un "archivo de éxitos". Este archivo consiste en un listado personal que debe actualizarse continuamente, en el que se registran éxitos personales. Cabe resaltar no solo es importante registrar las cosas que han sido un éxito en términos sociales, pues más importante aún es registrar las cosas que nos han hecho sentir fuertes o en las que nos hemos sentido felices y plenos, aunque para los demás no signifiquen demasiado.

Algunos de los éxitos del archivo son los artículos publicados; pero no solo por el acto mismo de hacer público un resultado, sino por las etapas para llegar al resultado. Entre estas etapas podemos mencionar:

a. La creación de la metodología, el acceso de las bases de datos, la interacción con las personas que tienen información pertinente, plantear la propuesta de investigación en una convocatoria de investigación, en una institución educativa o científica, entre otros. Todo lo anterior implica, más que paciencia, un alto grado de perseverancia, en los momentos que las cosas no van bien o se salen de los planes.
b. La disciplina diaria, que se basa en la forma en que trabaja el corazón y es el origen de su resistencia: contrariamente a los que podría pensarse, el corazón no está siempre en movimiento. Por el contrario, después de una sístole y una diástole, viene un momento de total inactividad. Asimismo, se ha observado que, en cualquier actividad que requiera resistencia, la mejor forma de manejar el tiempo es llevar ciclos periódicos de descanso y actividad, preferiblemente en horas definidas.

c. Planificar todas las actividades antes de la acción. Ello permite optimizar tiempo y recursos. La planificación de cada día está enlazada con una planificación semanal y esta, a su vez, con planificaciones cada vez más amplias, que al final se enlazan con la misión que dirige todo el proceso de la acción.
d. El cultivo del arte de la memoria. Las técnicas practicadas son tomadas de *Cómo adquirir una supermemoria,* de Harry Lorayne (28). Lorayne aclara la diferencia entre una mente entrenada y una sin entrenar, al tiempo que muestra una serie de técnicas simples que permiten lograr fácilmente una memoria extraordinaria.

Para concluir este capítulo, conviene también tener en cuenta una última clave, de gran importancia, por ejemplo, en el ámbito académico: desarrollar un automatismo para escribir artículos y proyectos, siguiendo una serie de pasos sistemáticos que permiten evitar las dudas y dilaciones que suelen acompañar este tipo de procesos y que permitieron, en 2016, a Rodríguez y el grupo *Insight* enviar a publicación un total de 100 artículos. Esta técnica los ha conducido a que, en la actualidad, cuenten con más de 140 trabajos originales, publicados en revistas que sobrepasan el ámbito nacional (29).

REFERENCIAS

1. Finckinger W. Chapter 18. New people, new physics. En Fickinger W. Physics at a Research University. Case Western Reserve 1830-1990 [Internet]. Pp. 279-90 Disponible en: https://pdfs.semanticscholar.org/bce3/220dce91b2c88f4e92e2b3355f1a105525f7.pdf
2. Krauss LM. Miedo a la física: una guía para perplejos. Buenos Aires: Andrés Bello; 1996.
3. Einstein A. Sobre la teoría de la relatividad general y otras aportaciones científicas. España: Sarpe; 1983.
4. Koestler A. Kepler. Barcelona: Salvat; 1986.
5. Euclides. Elementos. Madrid: Gredos.
6. Einstein A. Johannes Kepler. Frankfurter Zeitung. 1930;9:256-9.
7. Weinberg S. Los tres primeros minutos del universo. Madrid: Alianza; 1980.
8. Prieto S, Soracipa Y, Correa C, Bernal P, Rodríguez J, Acuña C, et al. Descubrimiento de la cinemática celeste elíptica. Determinación de la

órbita de la tierra con la metodología kepleriana. Rev Colomb Física. 2012;44(3):201-5.

9. Swiss Ephemeris [Internet]. Suiza: Astro.com [citado el 05 de julio de 2018]. Disponible en: http://www.astro.com/swisseph/
10. Nasa. Curiosity completa el segundo ciclo de estaciones marcianas [Internet]. EE. UU: NasaNet. 2018 [citado el 06 de agosto de 2018]. Disponible en: https://www.lanasa.net/news/marte/curiosity-completa-el-segundo-ciclo-de-estaciones-marcianas/
11. Soracipa Y. Conceptos filosóficos y la ley de la naturaleza probabilista como fundamentos comprensivos de la mecánica cuántica no relativista. Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica Nacional; 2012.
12. Crutchfield JP, Farmer JD, Packard NH y Shaw RS. Chaos. Sci Am. 1986;254(12):46-57.
13. Crutchfield JP. Between order and chaos. Nat Phys. 2012;8:17-24.
14. Tolman R. Principles of statistical mechanics. New York: Dover Publications; 1979.
15. Navarro J. Zenón contra Cauchy. Universitas 1979(12);147-52.
16. Gribbin J. En busca del gato de Schrödinger: la fascinante historia de la mecánica cuántica. Madrid: Salvat; 1986.
17. Grandjean, M. Henri Bergson et les paradoxes de Zénon: Achille battu par la tortue [Internet]. Wikimedia.org [citado el 06 de agosto de 2019]. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zeno_Achilles_Paradox.png
18. Lonergan B. *Insight*: A study of human understanding. Volumen 3. Toronto: University of Toronto Press; 1992.
19. Kant I. Crítica de la razón pura. Buenos Aires: Sopena; 1952.
20. De Bono E. Pensamiento lateral. Buenos Aires: Paidós; 1991.
21. De Bono E, Castillo O. El pensamiento creativo. Buenos Aires: Paidós; 1994.
22. Rebate C, Fernández A. Las ruedas mágicas de la creatividad. Barcelona: Plataforma; 2011.
23. Klasky A, Csupó G, Germain P. Rugrats: Aventuras en pañales [serie animada, emitida entre 1991 y 2004, por Nickeloedon].
24. Napoleón H. Piense y hágase rico. Barcelona: Bruguera; 2009.

25. Cuesta J, Rodríguez J, Correa C, Soracipa Y, Prieto S. Estrategias de éxito para la formación científica y la producción de artículos basada en la experiencia: recopilación basada en las prácticas pedagógicas de la Línea de Profundización e Internado Especial "Teorías Físicas y Matemáticas aplicadas a la Medicina. Bogotá: UMNG; 2014.
26. Ford S. La dicha del éxito. México: Planeta; 2006.
27. Napoleón H, Stone C. La actitud mental positiva: un camino hacia el éxito. Rosario: Grijalbo; 1960.
28. Lorayne H, Porta B. Cómo adquirir una supermemoria. Bogotá: Bruguera; 1970.
29. GruplAC. *Insight* [Internet]. Colombia: Colciencias. 2020 [consultado el 02 de mayo de 2020] Disponible en: https://scienti.minciencias.gov.co/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000006698