

## El descubrimiento científico: mecanismos cognitivos

Pablo Aguilar Marín<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Universidad Nacional de Trujillo, Perú;  
[pabloagma@hotmail.com](mailto:pabloagma@hotmail.com)

Recibido: 14-10-2013

Aceptado: 16-12-2013

### RESUMEN

Con la finalidad de esclarecer algunas características de la creatividad científica, en el presente ensayo se examina los aspectos *cognitivos* de los autores de cuatro casos de *descubrimiento científico* de la historia de la ciencia del siglo XX: 1) la teoría sobre la extinción de los dinosaurios de Walter y Luis Álvarez, 2) la teoría sobre la estructura de la molécula del ADN de James Watson y Francis Crick, 3) la teoría bacteriana de las úlceras gástricas de Robin Warren y Barry Marshall y, 4) la teoría de la relatividad del espacio, tiempo y movimiento de Albert Einstein. El examen de estos cuatro casos nos ha permitido argumentar por lo siguiente: a) los descubrimientos científicos se ponen de manifiesto en las hipótesis, b) la creatividad mostrada en la construcción de teorías por los Alvarez, Watson y Crick, Marshall y Warren y Einstein fueron principalmente el resultado del ejercicio de pensamiento ordinario, c) el razonamiento lógico no es un factor determinante en la generación de las hipótesis sino que se la utiliza en combinación con el conocimiento científico previo, la imaginación, la intuición, la experiencia sensorial de los autores.

**Palabras clave:** creatividad, descubrimiento científico, hipótesis científica, ciencia cognitiva, extinción de los dinosaurios, estructura del ADN, úlceras pépticas, relatividad especial.

### ABSTRACT

In order to clarify some features of the scientific creativity, in this essay it is examined the cognitive aspects of the authors of four cases of scientific discovery in the history of science of the last century: 1) the theory on the dinosaurs extinction by Walter and Louis Alvarez, 2) the theory on the structure of the DNA molecule by James Watson and Francis Crick, 3) the bacterial theory on the peptic ulcers by Robin Warren and Barry Marshall and, 4) the special relativity theory by Albert Einstein. The examination of these four cases allowed us to argue for: i) the scientific discoveries are expressed in the hypotheses, ii) the creativity in theory construction showed by the Alvarez, Watson and Crick, Marshall and Warren and Einstein, was mainly the result of ordinary thinking, c) the logical reasoning is not a determinant part in hypotheses generation but it is used in combination with the previous scientific knowledge, imagination, intuition and sensory experience.

**Keywords:** creativity, scientific discovery, scientific hypothesis, cognitive science, dinosaurs extinction, the DNA structure, peptic ulcers, special relativity.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el momento en que Arquímedes salió de la tina de baño corriendo desnudo y gritando ¡Eureka! (¡Encontré la solución!), tomó conciencia de haber producido una idea nueva y útil.

La creatividad genera ideas nuevas y útiles que se ponen de manifiesto en diversas actividades humanas tales como: el *descubrimiento científico*, la *invención tecnológica*, la *imaginación artística*, la *innovación social*.

En el presente artículo se examina los aspectos *cognitivos* de los autores de cuatro casos de *descubrimiento científico* que son parte de la lista de los logros más importantes en la historia de la ciencia: la teoría sobre las causas de la extinción de los dinosaurios de Walter y Luis Alvarez (1980), la teoría sobre la estructura de la molécula del ADN de James Watson y Francis Crick (1953), la teoría bacteriana de las úlceras gástricas de Robin Warren y Barry Marshall y la teoría de la relatividad del espacio, tiempo y movimiento de los cuerpos materiales de Albert Einstein (1905).

La ciencia *cognitiva* es el estudio interdisciplinario de la *mente e inteligencia*, a través de la: a) psicología, b) neurociencia, c) lingüística, d) inteligencia artificial, e) filosofía y, f) antropología. Esta ciencia interdisciplinaria tiene sus orígenes a mediados de la década de 1950 cuando científicos de diversos campos empezaron a desarrollar teorías sobre la *mente* con ayuda de la computadora.

Para el descubrimiento científico, la tarea difícil es la generación de respuestas (hipótesis) que provean posibles explicaciones o soluciones a problemas. Otra tarea importante del descubrimiento científico es la generación de nuevos conceptos o la reformulación de conceptos antiguos.

¿Cuáles son los procesos cognitivos que producen resultados creativos? Preguntas de este tipo representan un reto para la ciencia cognitiva actual que aún carece de una teoría acerca de cómo se generan las preguntas en la investigación científica. No obstante, puede decir mucho sobre los procesos mediante los cuales se responden las preguntas vía las hipótesis.

El examen de los cuatro casos de descubrimientos científicos referidos anteriormente, nos ha permitido argumentar por lo siguiente:

- Los descubrimientos científicos están representados por las hipótesis que se generan.
- El desarrollo de las ideas de Walter y Luis Alvarez, James Watson y Francis Crick, Robin Warren y Barry Marshall y Albert Einstein, fueron principalmente el resultado de ejercicio de pensamiento ordinario.
- El razonamiento lógico no es un factor determinante en la construcción de hipótesis; se lo utiliza en combinación con la imaginación, la intuición, la experiencia sensorial, el conocimiento científico previo.

Con este ensayo se pretende contribuir al esclarecimiento de la naturaleza de la investigación científica.

## **2. COMO FUNCIONA LA CIENCIA: CUATRO EJEMPLOS DE DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO**

### **2.1 La extinción de los dinosaurios**

Desde que se empezó a reportar la existencia de fósiles de dinosaurios en el siglo XIX, los científicos se preguntaban acerca de las causas de su extinción. Se proponían diversas hipótesis con muy escasa evidencia.

A mediados de la década de 1970, Alvarez et. al. (1980) estuvieron investigando los orígenes geológicos de los Montes Apeninos en Gubbio, Italia. Durante el examen de sedimentos rocosos encontraron accidentalmente una fina capa de arcilla (1 cm de espesor) en la unión entre las capas correspondientes a los períodos del Cretácico y del Terciario.

La transición entre las capas del Cretácico y Terciario coincide con la época en que se extinguieron los dinosaurios y muchos otros organismos (hace aproximadamente 65 millones de años) de modo que Álvarez empezó a investigar la delgada capa de arcilla para encontrar vestigios de lo que podría haber ocurrido.

Alvarez se propuso averiguar cuanto tiempo había tardado en depositarse la delgada capa de arcilla. Después de fracasar en un primer intento de medir la velocidad de depósito del polvo de arcilla vía la abundancia del elemento químico berilio-10, consultó a su padre Luis Alvarez (Fig 1), famoso científico, ganador del premio Nobel de física, quién le sugirió medir la cantidad de iridio presente en la capa de arcilla.



**Fig.1.** Luis Álvarez (izquierda) y Walter Álvarez (derecha) junto a las capas de sedimentos rocosos en Gubbio, Italia (Wikipedia, 2013). Inicialmente, el interés de Walter Álvarez fue decifrar el origen de los montes Apeninos.

Si la capa de arcilla se hubiera depositado a gran velocidad, casi nada de iridio habría pero si se hubiera depositado lentamente, los investigadores esperaban encontrar alrededor de 0.1 partes por mil millones de iridio. Para su sorpresa, encontraron que la capa de arcilla contenía alrededor de 30 veces más de lo que esperaban, una cantidad inusualmente alta de iridio. Estas altas cantidades de iridio eran típicas en asteroides y cometas.

Alvarez y colaboradores razonaron que la cantidad relativamente alta de iridio indicaría una lenta deposición permitiendo que se acumule polvo para formar la capa.

En tiempos pasados, Alvarez había estado muy interesado en los cráteres de impactos de asteroides sobre la luna y otros planetas. También había leído sobre la explosión del volcán de Indonesia, Krakatoa, en el año 1883, que había lanzado a la atmósfera un estimado de 18 kilómetros cúbicos de materia volcánica hacia la atmósfera afectando el clima de todo el planeta.

En el transcurso de las primeras etapas de la investigación, Alvarez generó varias interrogantes (Thagard, 1999): ¿Porqué en la unión entre los sedimentos del Cretácico y Terciario había una capa de arcilla? ¿Cuál fue la velocidad de deposición de la capa de arcilla? ¿Qué le sucedió a los dinosaurios?

El hallazgo sorprendente de elevadas cantidades de iridio, el conocimiento previo sobre los cráteres de la luna, sobre la explosión del volcán de Krakatoa, etc., contribuyeron para que Alvarez formule la *hipótesis* (Fig. 2):

“Hace 65 millones de años un asteroide podría haber colisionado con la tierra y causado la extinción masiva de dinosaurios y otras especies.”

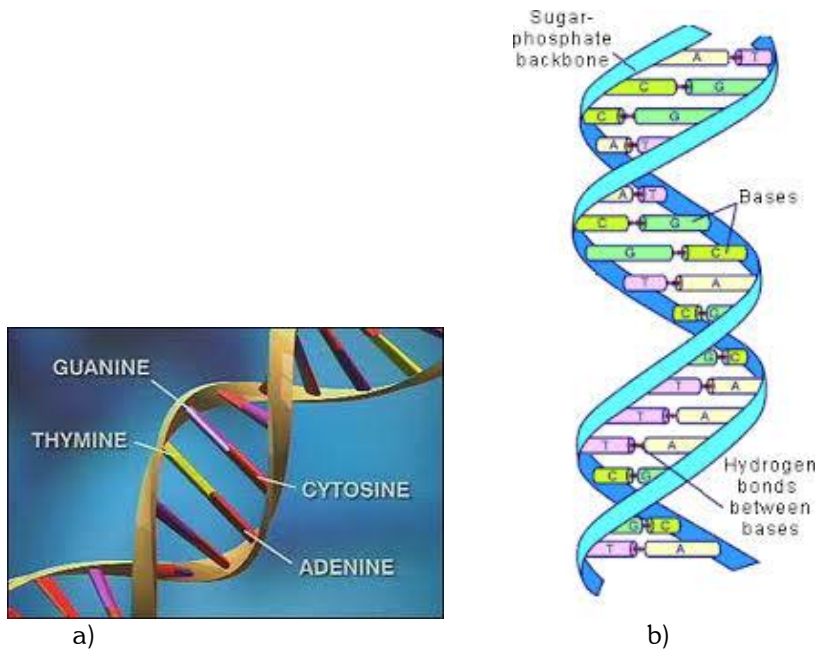


**Fig. 2.** Diseño artístico que visualiza la hipótesis de la colisión entre un asteroide y la tierra (Sebastian, 2013).

## 2.2 La estructura de doble hélice del ADN

En 1953, James Watson y Francis Crick, publicaron su modelo de la estructura de doble hélice de la molécula de ADN (Fig. 3) que tuvo efectos revolucionarios en nuestra comprensión y control de los procesos genéticos.

La molécula del ADN consiste de un conjunto de unidades que se repiten una y otra vez denominados, nucleótidos. Cada nucleótido comprende: i) una *base* rica en nitrógeno (de un total de cuatro bases: adenina A, citosina C, guanina G y tiamina T), ii) un grupo *fosfato*, iii) un *azúcar*. Miles de nucleótidos ensartados unos con otros forman la molécula completa de ADN.



**Fig. 3.** Representación esquemática del modelo de Watson y Crick (1953) de la estructura de la molécula de ADN. a) Las cuatro *bases* diferentes ricas en nitrógeno: adenina A, citosina C, guanina G y tiamina. b) Un fosfato, un azúcar y una base, forman lo que se llama un *nucleótido*.

El problema de la composición y estructura del *material genético* había estado siendo perseguido durante más de 50 años por genetistas, biólogos y otros científicos (Olby, 1994).

A inicios del siglo XX, se creía que el material genético era la *proteína* debido a su abundancia en las células. También estaba bien establecido que la molécula de ADN estaba presente en todas las células (Stent, 1980).

Investigadores de primera línea que estudiaban la estructura de las proteínas, consideraban que el material genético estaba presente solamente en las proteínas del núcleo de la célula (Weisberg, 2006).

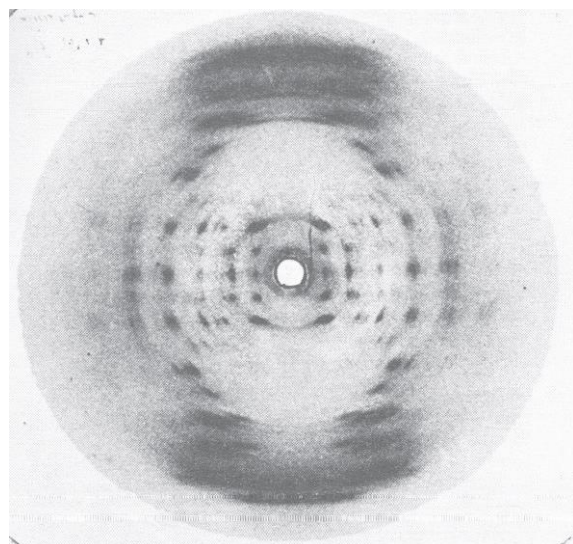
En 1944, el físico Erwin Schroedinger, uno de los fundadores de la teoría cuántica, publicó su libro *¿Qué es la vida?* (Schroedinger, 1944) en el que discutía cómo podría estar estructurado el aún desconocido material genético y cómo podría transmitir información y dirigir el proceso reproductivo y otras actividades. Schroedinger propuso que el material genético podría estar constituido por *pequeñas unidades* que se repiten una y otra vez en diversas combinaciones; estas combinaciones actuarían como las letras de un alfabeto utilizado para comunicar la información desde el gen hacia los mecanismos de la célula.

El libro de Schroedinger fue leído por muchos físicos despertando su interés en temas biológicos en general y en genética, en particular. Dos de estos físicos fueron los británicos, Francis Crick y Maurice Wilkins. El libro fue también leído por biólogos, entre ellos, los norteamericanos James Watson y Salvador Luria (Watson se doctoró en genética bajo la dirección de Luria).

Como resultado de una constelación de hallazgos, por la década de 1950, muchos investigadores (aunque no todos) habían llegado a la conclusión de que el material genético era la molécula de ADN y no la proteína.

Wilkins había dado una charla en la que discutió la posibilidad de que la molécula de ADN fuera de forma helicoidal y de *una sola hebra* (Judson, 1979; Olby, 1994). Más adelante, en base a nuevos datos, Wilkins se inclinó por la idea de *3 hebras helicoidales*.

En 1950 Watson (1968) asistió a una conferencia en Inglaterra en la que Wilkins proyectó una diapositiva de una fotografía de rayos X del ADN (Fig. 4) que lo cautivó completamente. La fotografía significaba que el ADN tenía una estructura regular y periódica que podía ser analizable.



**Fig. 4.** Fotografía de rayos X de la molécula de ADN de Wilkins (Watson, 1968).

Watson logró integrarse al grupo de investigadores del Laboratorio de Cavendish de la Universidad de Cambridge del que Crick formaba parte.

La colaboración entre Watson y Crick empezó en el otoño de 1951. Compartían un interés común en saber cómo podía ser almacenada la información genética en una molécula.

La atención de Watson y Crick se orientó hacia la manera en que estaba estructurada la molécula de ADN:

¿Era la molécula del ADN una cadena larga de *pequeñas unidades*, uno adyacente al siguiente? ¿Era un anillo cerrado con un nucleótido adjunto al siguiente hasta retornar al punto de inicio? ¿Tenía otra forma?

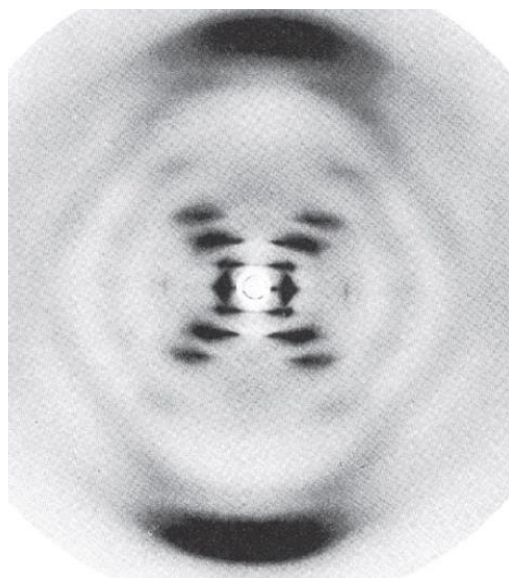
Linus Pauling, químico norteamericano (premio Nobel de química), recientemente había resuelto el problema de la determinación de la estructura de la proteína que forma las uñas de los dedos y el cabello, la alfa-keratina (Olby, 1994; Watson, 1969). Había propuesto que la estructura de la alfa-keratina tenía la forma de una hélice y había construido un modelo de la estructura para mostrar cómo los átomos encajan juntos.

Conocedores de los trabajos de Pauling y teniendo en cuenta los trabajos de Wilkins y otros, Watson y Crick tomaron dos decisiones acerca del ADN que fueron muy importantes para ubicarlos en el camino hacia el éxito:

- 1) Decidieron *construir un modelo* de la estructura de la molécula del ADN.
- 2) Empezaron asumiendo que el ADN podría tener la forma de una *hélice*, elección que al final, resultó ser correcta en términos generales.

Cuando Watson y Crick empezaron a trabajar, la evidencia indicaba solamente que la molécula era más gruesa que una hebra helicoidal. Podrían ser dos, tres o cuatro hebras. Otro problema era donde ubicar las *bases* (los cuatro diferentes compuestos A, C, T y G); podrían estar dentro de la hélice (entre las hebras) o sobresaliendo desde afuera con las hebras helicoidales en el centro. Watson y Crick necesitaban piezas de información adicionales para llevar a cabo la construcción de su modelo.

En noviembre de 1951, la investigadora Rosalind Franklin, expuso en una conferencia fotografías de rayos X del ADN después de ser expuestos a humedad (Fig. 5) .



**Fig. 5.** Fotografía de rayos X de la molécula de ADN de Franklin (Weisberg, 2006).

Con esta información, en noviembre de 1951 Watson y Crick construyeron un modelo de la estructura del ADN de 3 hebras helicoidales y con las bases en el exterior. Este modelo resultó ser erróneo pero eran razonable para los datos con los que se contaba en en aquel tiempo.

No obstante lo erróneo que resultó este primer intento, este modelo los puso en la senda que rápidamente lo condujo al modelo correcto final que Watson y Crick publicaron en 1953 (Fig. 3).

### 2.3 Úlceras gástricas y bacterias

Las *úlceras pépticas* son llagas que pueden desarrollarse en la mucosa que recubre al estómago (úlceras gástricas) o en la primera parte del intestino delgado (úlceras duodenales). Es una enfermedad común que afecta hasta el 10% de la población.

Hasta hace tres décadas aproximadamente, al estómago se lo tomaba como un ambiente esteril, demasiado ácido para que una *bacteria* pueda sobrevivir allí.

Una creencia común de la comunidad médica y de la población (no respaldada por alguna investigación médica) era que las úlceras eran causadas por el “stress” y se solía tratarlas con drogas antiácidas que proveían alivio pero no cura.

En 1979, en el curso de sus tareas normales de patólogo del Hospital “Royal Perth I” de Australia, Robin Warren había observado con un microscopio una bacteria espiral en una biopsia tomada del estómago de un paciente con severa gastritis (Warren y Marshall, 1983). Warren no había estado buscando bacterias en el estómago, simplemente los encontró.

Durante los siguientes dos años, Warren observó la bacteria en muchas muestras (Fig. 6), usualmente asociadas a gastritis.



**Fig. 6.** Microfotografía de la bacteria *Helicobacter pylori* indicada por las flechas (Thagard, 1997).

En 1981 otro médico, Barry Marshall, inició una pasantía de seis meses como parte de su programa de entrenamiento en medicina interna. Se le sugirió que ayude a Warren a investigar la bacteria que él había observado para indagar si tenía alguna significancia médica.

Marshall y Warren aplicaron un tratamiento con el antibiótico tetraciclina a un paciente con un malestar gástrico severo causado por gastritis. Después de 14 días de antibióticos, desaparecieron la

gastritis y el malestar. Pruebas clínicas siguientes determinaron que una combinación de metronidazole y bismuto (antibiótico) erradicaba la infección en 80 % de pacientes (Marshall, 1994).

En sus investigaciones Warren y Marshall generaron numerosas preguntas importantes sobre la bacteria encontrada en los estómagos de pacientes con úlceras (Thagard, 1997):

¿Está la bacteria correlacionada con la enfermedad de la úlceras?

¿Cómo puede eliminarse la bacteria?

¿Afectaría a la enfermedad la eliminación de la bacteria?

Una vez que Warren y Marshall se preguntaron cómo podía ser eliminada la bacteria, etc., pudieron hacer una búsqueda sistemática que involucraba un arreglo conocido de antibióticos para determinar cuáles podrían ser efectivos en la eliminación de la enfermedad.

Las hipótesis que Marshall y Warren habían formulado fueron:

- 1) La bacteria espiral gástrica (*Helicobacter pylori*) habita el estómago humano.
- 2) La bacteria *Helicobacter pylori* puede causar úlceras pépticas.
- 3) Las úlceras pépticas pueden curarse con antibióticos.

Marshall diseñó un estudio sistemático en 100 pacientes orientado a hallar correlaciones entre la ocurrencia de la bacteria y la presencia de problemas estomacales. En Octubre de 1982, los resultados estadísticos indicaban que solamente los pacientes con gastritis tenían la bacteria espiral gástrica y que los 13 pacientes con úlcera duodenal no tenían el microorganismo.

Warren y Marshall notaron similitudes entre la bacteria espiral gástrica y la ya conocida bacteria, *Campylobacter*. En abril de 1982, por primera vez se cultivó el organismo espiral y se hizo aparente que era una nueva especie de bacteria. En 1983, se le dio el nombre de *Campylobacter pyloridis*. Estudios posteriores condujeron a la conclusión de que la bacteria no pertenecía a *Campylobacter* de modo que el nombre fue cambiado a ***Helicobacter pylori*** (Goodwin et al., 1989).

Las correlaciones encontradas entre la presencia bacteriana y las úlceras fueron sorprendentes. La búsqueda de tales correlaciones podría hacerse sistemáticamente una vez que el cuestionamiento había planteado problemas a ser resueltos.

Experimentos subsiguientes determinaron que una combinación de antibióticos fue capaz de eliminar la bacteria y curar la úlcera péptica.

En enero de 1983, Marshall envió un reporte para un congreso de la Sociedad Australiana de Gastroenterología, proponiendo que la bacteria podría ser responsable de las úlceras. Este reporte fue rechazado por los organizadores del evento: de 67 trabajos enviados, 59 fueron aceptados; el de Marshall estuvo entre los rechazados.

El mismo año, Marshall y Warren lograron que se publicara su trabajo en la revista "The Lancet" (Marshall y Warren, 1984).

Aunque la hipótesis de que las úlceras pépticas son causadas por bacterias fue inicialmente visto como ridícula por muchos gastroenterólogos, estudios subsecuentes han sustentado ampliamente la afirmación de Marshall and Warren.

Desde aquél año, se han publicado cerca de 4,000 artículos sobre la bacteria *Helicobacter pylori*.

En la actualidad, las úlceras pépticas son ampliamente consideradas (aunque no universalmente) como de origen bacteriana y tratable con antibióticos.

En la historia de la ciencia médica, ocurrió así, un dramático cambio de paradigma con respecto a la comprensión y tratamiento de las úlceras pépticas.



## 2.4 La teoría de la relatividad especial de Einstein

El más famoso de los 5 artículos que Albert Einstein publicó en 1905 fue, sin duda, el referente a la "teoría de la relatividad especial," una teoría sobre el espacio, tiempo, masa y movimiento de los cuerpos materiales con velocidad constante. Su teoría tuvo como título: "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento" (Einstein, 1905).

El trabajo de Einstein es el caso de descubrimientos científicos realizados fundamentalmente, examinando teorías. En este trabajo Einstein examina dos teorías: la teoría de los fenómenos electromagnéticos de James C. Maxwell publicada por el año 1864 y la teoría del movimiento de Newton con sus nociones de espacio y tiempo absolutos, vigente desde 1687.

Desde el año 1831, se conocía el descubrimiento empírico de Faraday de la inducción electromagnética entre un imán y un conductor eléctrico: se induce la misma corriente eléctrica en el conductor, cuando este está en reposo y el imán en movimiento ó cuando el conductor está en movimiento y el imán en reposo. La naturaleza manifiesta esta propiedad de simetría.

¿Cómo construyó Einstein su teoría? Para intentar responder en parte ésta pregunta, revisemos algunos párrafos de la introducción de su artículo de 1905.

En el primer párrafo de la introducción, Einstein menciona a la teoría de Maxwell:

"Es sabido que la teoría electrodinámica de Maxwell, *tal como se la suele entender hoy en día*, cuando se la aplica a los cuerpos en movimiento, conduce a *asimetrías* que no son inherentes a los fenómenos."

Como sustento de su aseveración, pone como ejemplo, la ley de Faraday de la inducción electromagnética, la acción recíproca entre un imán y un conductor cuando uno se mueve con respecto al otro.

Einstein indicaba que esta propiedad de la naturaleza no se ponía de manifiesto cuando se aplicaba la teoría de Maxwell. No es la teoría de Maxwell la que cuestionaba sino fundamentalmente, *la manera en que se la entendía y aplicaba* en aquellos tiempos.

Por asimetrías, Einstein se refería a que, cuando se aplicaba la teoría de Maxwell (como se la entendía en aquellos tiempos) para calcular la corriente eléctrica, se utilizaban una ecuación cuando el imán estaba en reposo y el conductor en movimiento y otra ecuación cuando el imán estaba en movimiento y el conductor en reposo. Desde luego que el resultado era el mismo y estaba en concordancia con los experimentos.

En el segundo párrafo, Einstein cita los intentos que hacían los científicos de aquella época para probar la hipótesis sobre la existencia de una sustancia que se suponía, llenaba todo el espacio: el éter. Einstein escribió:

"Ejemplos de este tipo, junto con los fracasados intentos de descubrir el movimiento de la tierra relativo al medio lumínico (éter) sugieren que, tanto los fenómenos de la *electrodinámica* y de la *óptica* como los de la *mecánica*, no poseen propiedades que correspondan a la idea de reposo *absoluto*."

Entonces, para Einstein, los resultados del experimento del imán y el conductor y los experimentos ópticos, están en conflicto con las nociones de espacio absoluto.

Unas cuantas palabras después, Einstein introduce una conjetura diciendo:

"Estos casos sugieren que, *las mismas leyes* de la *electrodinámica* y de la *óptica* son válidas para todos los sistemas de referencia para los que son válidas las ecuaciones de la *mecánica*."

Por “ecuaciones de la mecánica” se refería a la teoría de Newton del movimiento de los cuerpos materiales.

Luego, Einstein agrega: “Elevaremos esta conjetura al estatus de *postulado* que, de aquí en adelante será llamado, *principio de la relatividad*.”

Continúa diciendo:

“y también introduciremos otro postulado: *la luz siempre se propaga en el espacio vacío con una velocidad definida que es independiente del estado de movimiento de la fuente emisora*.”

No da argumentos para este segundo postulado. Pero unos meses después, en un breve artículo de página y media, aclara: “el principio de la constancia de la velocidad de la luz está, por supuesto, contenido en las ecuaciones de Maxwell”.

Casi al término de la introducción, Einstein expresa: “estos dos postulados son suficientes para obtener una teoría simple y consistente de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, basada en la teoría de Maxwell para cuerpos estacionarios.”

Con estos dos postulados y luego de definir los conceptos de: *suceso o evento* y *simultaneidad de eventos*, se dedicó en las siguientes páginas a calcular (deducir) fórmulas. Estas fórmulas predecían que: 1) los cuerpos en movimiento reducen su longitud, 2) el tiempo transcurre más lentamente en un cuerpo en movimiento que en un cuerpo en reposo y, 3) la masa de un cuerpo se incrementa con la velocidad. Éstas predicciones asombraron a la comunidad científica y a la población.

### 3. MECANISMOS COGNITIVOS DEL DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO

La *creatividad* genera ideas nuevas y útiles. Las ideas pueden ser, nuevas hipótesis y conceptos, innovaciones, métodos o técnicas. Esta habilidad es evidente en muchas actividades humanas entre las que se incluyen: el *descubrimiento científico*, la *invención tecnológica*, la *imaginación artística*, la *innovación social* (Thagard, 2011).

La ciencia *cognitiva* tiene sus orígenes a mediados de la década de 1950 cuando científicos de diversos campos empezaron a desarrollar teorías sobre la *mente* con ayuda de la computadora.

La ciencia *cognitiva* es el estudio interdisciplinario de la *mente e inteligencia*, a través de (Thagard, 2009): a) la psicología (estudio de la mente), b) neurociencia (estudio de la estructura y funcionamiento del cerebro), c) lingüística (estudio del lenguaje), d) inteligencia artificial (programación de computadoras para percibir, razonar y actuar), e) filosofía (búsqueda de respuestas a cuestiones fundamentales acerca de la naturaleza de la realidad, conocimiento, moralidad y significado de la vida) y, f) antropología (estudio de los orígenes, distribución, relaciones sociales y cultura de los seres humanos).

El tema de la naturaleza del *descubrimiento científico* interesó a los fundadores del campo de la filosofía de la ciencia, entre ellos, Bacon (1600) en el siglo XVI, Whewell (1858) y Peirce (1931-1958) en el siglo XIX y XX. En la primera mitad del siglo XX, el surgimiento del *positivismo lógico* (Stathis y Martin, 2008), apartó de la agenda filosófica el tema del descubrimiento científico. El tema fue revivido con el trabajo de filósofos como Hanson (1958), Nickles (1980), Darden (1991) y Nersessian (1984).

El *descubrimiento científico* es un tópico interdisciplinario que se ubica en la intersección de la filosofía, la historia y la psicología de la ciencia. Se convirtió en objeto de investigación en el campo de la psicología cognitiva e inteligencia artificial con los trabajos de de Simon, Langley y otros (Langley et al., 1987).

¿Cuáles son los procesos cognitivos que producen estos resultados creativos? Preguntas de este tipo representan un reto para la ciencia cognitiva actual.

Para el descubrimiento científico, la tarea difícil es la generación de respuestas (hipótesis) que provean posibles explicaciones o soluciones a problemas.

Whewell (1858) sostenía que el secreto del descubrimiento científico era la creatividad en la generación de la hipótesis y la sagacidad en elegir la correcta. Entendía como hipótesis, "la concepción mediante la cuál se agrupan los hechos" (Bunge, 1996). La sagacidad requerida no puede enseñarse. Hay que forjar diversas hipótesis tentativas y elegir la correcta.

Otra tarea importante del *descubrimiento científico* es la generación de nuevos conceptos tal como el de bacteria *Helicobacter pylori* de la teoría bacteriana de las úlceras o la reformulación de conceptos antiguos como los de *evento* y *simultaneidad de eventos*, de la teoría de la relatividad de Einstein.

La mejor manera de resolver un problema es ya conocer una solución. Cuando un problema nos lleva a recordar aquél que ya resolvimos en el pasado, podemos adaptar tal caso a la situación presente identificando las similitudes más relevantes. Las *analogías* son así, comparaciones entre una situación *fuentes* que provee información a ser utilizada en una situación *objetivo*.

En la actividad científica pueden surgir preguntas (*cuestionamiento*) cuando el investigador al relacionarse con el mundo, entra en un estado de: *sorpresa*, *curiosidad* o de alguna *necesidad práctica*. El investigador genera hipótesis como un intento de explicar un fenómeno que luego somete a prueba diseñando un experimento, haciendo mediciones que produzcan los *datos* necesarios.

La *sorpresa* genera preguntas cuando el científico encuentra algo que no es coherente con sus creencias y expectativas. La *curiosidad* estimula preguntas (problemas) cuando hay algo que el científico quiere conocer por un interés general.

La *curiosidad* se despierta al notar vacíos o brechas en el conocimiento de algo (Loewenstein, 1994) pero de las muchas brechas que el investigador puede notar, solamente algunas de ellas despiertan un interés emocional que lo empuja a realizar los esfuerzos requeridos para generar respuestas a problemas. El investigador curioso experimenta placer al aprender algo que previamente no conocía.

La *necesidad o meta práctica* puede hacer que el investigador se pregunte cómo satisfacer o lograr tal meta al no estar enterado de los medios para lograr tal propósito (por ejemplo, con qué tratamiento curar las úlceras gástricas).

Otra es la situación cuando el investigador ya tiene a su disposición un *conjunto de datos* y se siente urgido a comprenderlos para encontrar conocimiento nuevo. El científico realiza una *búsqueda* dentro de un *espacio de problemas* (Newell y Simon, 1972). Se tiene un *estado inicial* problemático y se trata de pasar a un *estado final* (estado meta) en el que problema está resuelto (se realiza el descubrimiento). Para facilitar la búsqueda se recurre a la *heurística* que son "reglas empíricas" que hacen la búsqueda inteligentemente selectiva en lugar de una búsqueda aleatoria.

En ambas situaciones descritas, tanto cuando se empieza con problemas o cuando se empieza con datos disponibles, los investigadores hacen uso de una considerable cantidad de conocimiento como guía hacia el descubrimiento.

Una tercera situación que puede presentarse en el trabajo científico tiene lugar cuando alguna teoría vigente despierta el interés del investigador quien realiza descubrimientos en base, fundamentalmente al examen de la naturaleza de tales teorías.

Newell, Shaw y Simon (1958, 1962, 1972), sostienen que el pensamiento científico es simplemente pensamiento ordinario aplicado a una materia especializada que produce resultados extraordinarios.

Según Minsky (2005), en aquellas personas consideradas poseedoras de un talento extraordinario, no se encuentra un solo rasgo inusual que explique su excelencia. Más bien, lo que se halla son combinaciones inusuales de ingredientes comunes tales como:

- a) Son altamente proficientes en sus campos.
- b) Tienen una autoconfianza mayor que lo usual.
- c) Frecuentemente persisten donde otros abandonan.
- d) Acumulan más maneras de pensar.
- e) Habitualmente piensan de maneras novedosas con más frecuencia que otros.
- f) Tienen mejores sistemas de autocontrol de modo que desperdician menos tiempo en metas irrelevantes.
- g) Rechazan muchos mitos y creencias populares.
- h) Tienden a mantenerse pensando la mayor parte del tiempo (consumen menos esfuerzo en ideas improductivas).
- i) Evidencian excelencia en explicar lo que han hecho.
- j) Aprenden más a partir de menos experiencia.

### **3.1 La hipótesis del impacto asteroide-tierra**

¿Donde adquirió Alvarez las ideas que le condujeron a responder las preguntas que se formuló?  
¿Tenía él alguna intuición mágica, algún "sexto sentido" creativo que le condujo al camino correcto?

En el pensamiento de Alvarez sobre la extinción de los dinosaurios, las principales fuentes de la problematización parecen haber sido: la *sorpresa* (al hallar la capa de arcilla y su alto contenido de iridio), *curiosidad* (acerca de las causas de la extinción de los dinosaurios) y el planteamiento de problemas subsidiarios que apuntaban a proveer respuestas a los problemas ya generados.

El hallazgo sorpresivo de cantidades inusualmente altas de iridio en la fina capa de arcilla en la unión de entre las capas del cretácico y terciario, condujo a Alvarez y colaboradores a descubrir la inesperada *hipótesis*:

"Hace 65 millones de años un asteroide podría haber colisionado con la tierra y causado la extinción masiva."

Alvarez (1998) no recordaba cuando se le ocurrió por primera vez la hipótesis del impacto de un asteroide pero si el haber estado muy interesado en los cráteres de impactos sobre la luna y otros planetas. También recordó haber leído sobre la explosión del volcán de Indonesia, Krakatoa, que había lanzado tanto polvo hacia el aire que había afectado al clima a través de todo el mundo.

Es posible que la hipótesis del impacto fue generado por *analogía*:

- 1) La luna fue impactada por asteroides que dejaron grandes cráteres.
- 2) Por lo tanto, de manera similar, los asteroides podrían haber colisionado con la tierra produciendo la capa de arcilla con inusuales porcentajes de iridio.

Alvarez conjeturó que el impacto de un enorme asteride podría enviar tanta cantidad de polvo hacia el aire que podría haber oscurecido todo alrededor del mundo y hacer que colapse toda la cadena alimenticia produciendo la extinción de los dinosaurios y muchos otros organismos.

Alvarez construyó sus hipótesis sobre trabajos y hechos previos. De esta manera, para comprender el desarrollo de las ideas de Alvarez y colaboradores no es necesario asumir que estuvieron involucrados intuiciones mágicas o algún "sexto sentido" creativo.

La sorpresa al haber encontrado la cpa fina de arcilla, la curiosidad por conocer la causa de la extinción de los dinosaurios y el razonamiento analógico, condujeron a proveer respuestas a algunos de los importantes problemas que Alvarez estuvo persiguiendo.

### **3.2 La hipótesis de la estructura helicoidal del ADN**

¿Donde consiguieron Watson y Crick las ideas de construir modelos y asumir que la forma de la molécula de ADN podría ser helicoidal? ¿Tenían ellos alguna intuición mágica, algún "sexto sentido" creativo que los encarriló en el camino correcto?

Watson y Crick tomaron dos decisiones que resultaron muy importantes para ubicarlos en el camino hacia el éxito:

- 1) Adoptaron la hipótesis de trabajo: "La molécula de ADN podría tener la forma de una *hélice*."
- 2) Decidieron *construir un modelo* de la estructura del ADN.

Con estas ideas en mente, cuestionaban aquellos datos que estaban en conflicto con la idea de la hélice.

Sin embargo, la hipótesis helicoidal no era todo lo que se necesitaba. La evidencia indicaba solamente que la molécula de ADN era más gruesa que una hebra helicoidal; podrían ser dos, tres o cuatro hebras. Watson y Crick construyeron un modelo del ADN conteniendo tres hebras helicoidales (idea razonable para esa época) que, aunque resultó ser erróneo, los puso en la senda que rápidamente los condujo al modelo final (con dos hebras) que Watson y Crick publicaron en 1953.

Las ideas novedosas utilizadas por Watson y Crick provinieron, en primer lugar, de la adopción y extensión de las ya existentes ideas que habían sido desarrolladas por *Pauling* al tratar con problemas similares en un área estrechamente relacionada. Wilkins también contribuyó a la adopción de Watson and Crick del supuesto del ADN como helicoidal con sus fotografías de los estudios de difracción de rayos X.

Diversos componentes específicos de la doble hélice surgieron a través del ejercicio de pensamiento ordinario, algunas veces acompañados de información externa (la foto de Franklin, Fig. 5).

Por lo tanto, para comprender el desarrollo de las ideas de Watson y Crick, no es necesario asumir que estuvieron involucrados intuiciones mágicas o algún "sexto sentido" creativo. El avance creativo de Watson y Crick fue construido sobre trabajos anteriores, imaginación, toma de decisiones.

### **3.3 La hipótesis bacteriana de las úlceras pépticas**

¿Donde consiguieron Marshall y Warren las ideas que les condujeron a responder las preguntas que se formularon sobre la bacteria encontrada en los estómagos de pacientes con úlceras? ¿Tenían ellos alguna intuición mágica, algún "sexto sentido" creativo que los condujo a la trayectoria correcta?

Después que Marshall y Warren se hicieron la pregunta de si la bacteria podría ser responsable de la enfermedad, fue relativamente directo diseñar un experimento para determinar si la bacteria se correlacionaba con las enfermedades gastrointestinales comunes tales como gastritis, úlcera gástrica, úlcera duodenal.

Mientras esperaban que el estudio se completara, Marshall y Warren leían profusamente todo escrito sobre gastritis y bacterias y estuvieron interesados en averiguar si la gastritis crónica estaba asociada a la úlcera péptica (Marshall, 1989).

Las hipótesis que Marshall y Warren habían descubierto fueron las siguientes:

- 1) La bacteria espiral gástrica (*Helicobacter pylori*) habita el estómago humano.
- 2) La bacteria *Helicobacter pylori* puede causar úlceras pépticas.
- 3) Las úlceras pépticas pueden curarse con antibióticos.

El haberse percatado de la presencia de una bacteria en el curso de su trabajo diario fue un evento accidental para Warren. No estuvo buscando una explicación de la gastritis o úlcera; simplemente estuvo examinando muestras gástricas con un microscopio con un aumento suficiente para hacer visible a la bacteria.

La *sorpresa* y *curiosidad* condujeron a Warren a hacerse preguntas acerca de la naturaleza de la bacteria. La *sorpresa* fue de hecho un factor, porque generalmente se creía que el estómago era estéril. La *curiosidad* se dio por el hecho de que se conocía poco acerca de la bacteria de estómago.

La *necesidad práctica* de curar la enfermedad les condujo a utilizar antibióticos como tratamiento.

Para comprender el desarrollo de las ideas de Marshall y Warren, no es necesario asumir que estuvieron involucrados intuiciones mágicas o algún "sexto sentido" creativo. Construyeron sus hipótesis sobre trabajos anteriores y pensamiento ordinario.

### **3.4 Los postulados de la teoría de la relatividad especial**

¿Dónde consiguió Einstein las ideas que le condujeron al descubrimiento de los dos postulados de la teoría de la relatividad especial? ¿Tenía él alguna intuición mágica, algún "sexto sentido" creativo que le condujo al éxito?

Para la construcción de postulados o hipótesis, Einstein recomendaba (Holton, 1978): *"Confiar en un número muy pequeño de experimentos como base de la teoría."*

Esta idea, Einstein la puso en práctica para descubrir los dos postulados de su teoría de la relatividad. Porque, contrario a lo que se esperaría, Einstein no presentó sus dos postulados en una secuencia lógica conectados a un suficiente número de hechos y experimentos sistemáticamente ordenados. Solamente invocó escuetamente un muy escaso número de experimentos. El experimento de Faraday al que invocó era ya conocimiento común. No tuvo que recurrir a efectos sofisticados o nuevos. Se refirió a observaciones bien conocidas y consideradas como algo bien comprendido por todos.

Einstein consideraba que la teoría de Maxwell de la electrodinámica necesitaba una reformulación para cambiar la forma de entenderla eliminando así, las asimetrías que él había detectado.

Reformulando la teoría de Maxwell Einstein eliminó las asimetrías.

A continuación, reproducimos los aspectos relevantes del pensamiento de Einstein puesto de manifiesto en diversas entrevistas, conferencias y escritos para el público (Holton, 1978):

"No hay un camino lógico que nos lleve de las experiencias sensoriales hacia los postulados sino solamente una conexión intuitiva (psicológica) que siempre está sujeta a revisión. Es un intento, en gran medida especulativo, un salto arriesgado, que se lleva a cabo a tientas, una última propuesta que se hace cuando uno ya ha desesperado por encontrar otros caminos."

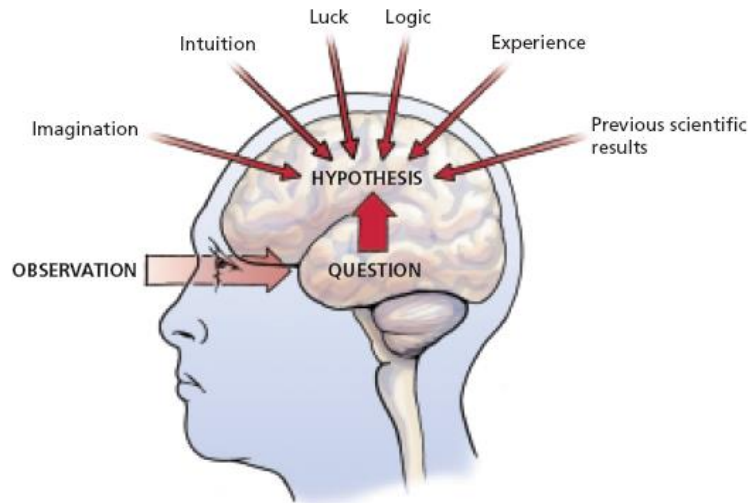
"El científico tiene que sonsacar a la naturaleza estos principios generales."

"En ausencia de un camino lógico, los postulados se construyen sobre la base de conjeturas, suposiciones, inspiración, pronósticos o corazonadas. El salto simboliza el momento en que se da rienda suelta a la imaginación que puede resultar del encuentro con el laberinto de impresiones sensoriales."

"El llegar a esas conjeturas y reunir el arrojo necesario para elevarlas al nivel de principios fundamentales no es el resultado de decisiones momentáneas y entusiastas sino el resultado de años de tanteo."

La Fig. 7, ilustra esquemáticamente, los ingredientes para descubrir hipótesis ( imaginación, intuición, lógica, experiencia, resultados científicos previos, suerte) como respuesta a un problema surgido de la observación. Esta figura se basa en el pensamiento de Einstein, excepto que el punto de partida es la observación. En la teoría de Einstein el punto de partida parece haber sido las teorías de Maxwell y de Newton.

La fig. 7 pone de manifiesto que el razonamiento lógico no es un factor determinante en la construcción de la hipótesis; se lo utiliza en combinación con la imaginación, la experiencia, los resultados científicos previos.



**Fig. 7.** Representación esquemática que muestra los ingredientes para descubrir hipótesis (imaginación, intuición, lógica, experiencia, resultados científicos previos, suerte) como respuesta a un problema surgido de la observación.

Para comprender el desarrollo de las ideas de Einstein no es necesario asumir que estuvieron involucrados intuiciones mágicas o algún “sexto sentido” creativo. Construyó sus postulados sobre las teorías de Maxwell y Newton en base a su imaginación ayudado por el examen de muy pocos resultados experimentales.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha examinado cuatro ejemplos de creatividad científica.

En el descubrimiento de la hipótesis sobre la extinción de los dinosaurios, los procesos cognitivos principales de Alvarez fueron la *sorpres*a (al hallar la delgada capa de arcilla con alto contenido de iridio) y la *curiosidad* (acerca de las causas de la extinción). El razonamiento analógico ayudó a Alvarez a generar respuestas a algunas de las interrogantes que trató de dilucidar. La hipótesis: “Hace 65 millones de años un asteroide colisionó con la tierra provocando la extinción de los dinosaurios”, posiblemente fue generado por el siguiente razonamiento analógico:

- \* La luna fue impactada por asteroides que dejaron grandes cráteres.
- \* Por lo tanto, de manera similar, los asteroides podrían haber colisionado con la tierra produciendo la capa de arcilla con inusuales porcentajes de iridio.

Las hipótesis de trabajo de Watson y Crick: 1) la molécula de ADN podría tener la forma de una *hélice*, 2) la construcción de *un modelo* de la estructura de la molécula de ADN es la mejor estrategia

para su determinación, fueron inspiradas en las ideas y trabajos previos de Pauling, Willkins Franklin y otros.

En la investigación sobre úlceras pépticas, los procesos cognitivos involucrados fueron, la *sorpresa* (al hallar la nueva bacteria), *curiosidad* (acerca de si eran médicamente significativas), *necesidad práctica* (ayudar a la gente con problemas de estómago).

La teoría de Einstein sobre la relatividad especial es un caso de descubrimientos científicos (los dos postulados) logrados fundamentalmente, examinando otras teorías: la teoría del electromagnetismo de Maxwell y la teoría de mecánica de Newton, invocando escuetamente un escaso número de experimentos.

En todos los casos examinados, no es necesario asumir que, en los descubrimientos científicos, estuvieron involucrados intuiciones mágicas o algún "sexto" sentido creativo. Fueron el resultado del ejercicio de pensamiento ordinario.

Los descubrimientos científicos se manifiestan en la generación de hipótesis.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HANSON, N. R. 1958. *Patterns of discovery*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ALVAREZ, L.W., ALVAREZ, W., ASARO, F., MICHEL, H. V. 1980. "**Extraterrestrial cause for the Cretaceous–Tertiary extinction**". *Science* **208** (4448): 1095–1108.
- ALVAREZ, W. 1998. **T. Rex and the Crater of Doom**. New York: Vintage.
- BACON, F. 1960. **The New Organon and related writings**. Indianapolis, IN: Bobbs-Merrill.
- BUNGE, M. 1996. **Intuición y Razón**. Editorial Sudamericana, Buenos Aires.
- CRICK, F. 1988. **What Mad Pursuit: A Personal View of Scientific Discovery**. Basic Books.
- DARDEN, L. 1991. **Theory change in science: Strategies from Mendelian genetics**. Oxford: Oxford University Press.
- EINSTEIN, A. 1905. **On the electrodynamics of moving bodies** (Translated from "Zur Elektrodynamik bewegter Körper," Annalen der Physik, 17, 1905).
- GOODING, D. 1990. **Experiment and the nature of meaning**. Dordrecht: Kluwer.
- GRAHAM, D. Y. 1996. in press. *Annual Review of Medicine*.
- HOLTON, G. 1978. **Ensayo sobre el pensamiento científico en la época de Einstein**. Alianza Universidad. Madrid.
- JUDSON, H. F. 1979. **The eighth day of creation: Makers of the revolution in biology**. New York: Simon and Schuster.
- LOEWENSTEIN, G. 1994. **The psychology of curiosity: A review and reinterpretation**. *Psychological Bulletin*, 116.
- MARSHALL, B. J., WARREN, J. R. 1984. **Unidentified curved bacilli in the stomach of patients with gastritis and peptic ulceration**. *Lancet*, 1(8390), 1311-1315.
- MARSHALL, B. J. 1989. **History of the discovery of *C. pylori***. In M. J. Blaser (Eds.), *Campylobacter pylori in gastritis and peptic ulcer disease* (pp. 7-22). New York: Igaku-Shoin.
- MARSHALL, B. J. 1994. **Helicobacter pylori**. *American Journal of Gastroenterology*.
- MINSKY, M. 2005. **The Emotion Machine**. Symon & Schuster, London.



- NERSESSIAN, N. 1984. **Faraday to Einstein: Constructing meaning in scientific theories**. Dordrecht: Martinus Nijhoff.
- NEWELL, A., SHAW, J. C., SIMON, H. 1958. **Elements of a theory of human problem solving**. Psychological Review, 65, 151–166.
- NEWELL, A., SHAW, C., SIMON, H. A. 1962. **The processes of creative thinking**. In H. NEWELL, A., SIMON, H. A. 1972. **Human problem solving**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- NICKLES, T. (Ed.). 1980. **Scientific discovery, logic, and rationality**. Dordrecht:Reidel.
- OLBY, R. 1994. **The path to the double helix: The discovery of DNA**. New York: Dover.
- PEIRCE, C. S. 1931-1958. **Collected papers**. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- SCHRÖDINGER, E. 1944. **What Is Life?**, Cambridge University Press.
- STATHIS, P., MARTIN, C. (Eds). 2008. **The Routledge companion to philosophy of science**, Routledge, New York.
- SEBASTIAN, A. 2013. **Finally confirmed** (<http://www.extremetech.com/extreme/147978-finally-confirmed-an-asteroid-wiped-out-the-dinosaurs>; consultado el 15-08-2013).
- STENT, G. S., CALENDAR, R. 1978. **Molecular genetics: An introductory narrative**. San Francisco: Freeman.
- THAGARD, P. 1997. **Ulcers and Bacteria I: Discovery and Acceptance**, Philosophy Department, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
- THAGARD, P. 1997. **Ulcers and Bacteria II: Instruments, Experiments and Social Interactions**, Philosophy Department, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
- THAGARD, P. 1999. **Scientific Discovery and Technological Innovation: Ulcers, Dinosaur Extinction, and the Programming Language Java**, Department, University of Waterloo, Waterloo, Ontario.
- THAGARD, P. 2009. **Why Cognitive Science Needs Philosophy and Vice Versa, Topics in Cognitive Science 1** 237–254, Cognitive Science Society.
- THAGARD, P. 2011. **Creative combination of representations: Scientific discovery and technological invention**. R. Proctor & E. J. Capaldi (Eds.), Psychology of science. Oxford: Oxford University Press.
- WARREN, J. R., MARSHALL, B. J. 1983. **Unidentified curved bacilli on gastric epithelium in active chronic gastritis**. *Lancet*, 1 (8336), 1273-1275.
- WATSON, J. D., CRICK, F.H. 1953. **"A structure for deoxyribose nucleic acids"**. *Nature* 171 (4356): 737–738.
- WATSON, J. D. 1969. **The Double Helix**. New York: New American Library.
- WEISBERG, R. W. 2006. **Creativity: understanding innovation in problem solving, science, invention, and the arts**, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- WHEWELL, W. 1858. **Novum Organum Renovatum**. London.
- WIKIPEDIA. 2013. ([http://en.wikipedia.org/wiki/Walter\\_Alvarez](http://en.wikipedia.org/wiki/Walter_Alvarez); consultado el 24-08-2013).