

## PATRONES DE DIFRACCIÓN DE LUZ LÁSER (532 NM) MEDIANTE PHANTOMS QUE SIMULAN LA ESTRUCTURA DEL ADN

Abdiel Ramírez Reyes, Nelly Laura Herrera Hernández, José Roberto Contreras Bárbara, Blanca Eva González Monroy, Keops Xeki García Galván, Alberto Aristeo Domínguez, Karen Yazareth Gonzaga Rivas

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Atitalaquia.

### RESUMEN

La difracción de ondas electromagnéticas como rayos X o luz visible, es un fenómeno físico utilizado para inferir estructuras de objetos en diversas áreas del conocimiento. En la primera parte de este trabajo se presentan los avances de la recreación el experimento que llevó a la química y cristalógrafa Rosalind Franklin a inferir la estructura helicoidal de doble cadena del ácido desoxirribonucleico (ADN) en 1953. Se recrea el experimento no con rayos X, sino con un diodo laser de 532 nm (verde) de divergencia de haz variable de 1000mW. Como muestras de estudio, se diseñan y construyen estructuras macroscópicas bidimensionales y tridimensionales (phantoms) que imitan la estructura básica del ADN para formar patrones de difracción, y también se usa una pantalla bajo condiciones geométricas específicas, en donde se proyectan los patrones de difracción generados para ser fotografiados. Esta primer parte del trabajo consta de 5 etapas, a saber: (i) se infiere la estructura de la doble hélice de objetos que imitan el ADN, (ii) se determinan las dimensiones de dichas estructuras, (iii) se recrean los cálculos de la llamada fotografía 51 de Rosalind Franklin, (iv) se da la explicación teórica básica de los fenómenos de difracción, y (v) se propone una simulación numérica del experimento. Lo anterior permite abordar el tema de difracción de una manera clara y práctica. En la segunda parte de este trabajo, se presenta una breve discusión sobre los polémicos aspectos históricos referentes al descubrimiento de la estructura del ADN por parte de Rosalind Franklin y el premio Nobel de 1962 otorgado a Watson, Crick y Wilkins, haciendo énfasis en que Rosalind Franklin debería ser parte de tan prestigiada distinción, sobre todo por la relevancia de este descubrimiento para las Ciencias Naturales.

### INTRODUCCIÓN

La química y cristalógrafa inglesa Rosalind Elsie Franklin (1920-1958), fue la responsable de utilizar difracción de rayos X para determinar la estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN). ¿Qué es lo que Rosalind Franklin podría leer exactamente de sus patrones de difracción?, o bien, ¿qué implica el patrón de difracción de la llamada Foto 51 mostrada en la Fig. 1?. En 1951, Rosalind Franklin escribió lo siguiente: "Los resultados sugieren una estructura helicoidal (que debe estar muy compacta) que contiene 2, 3 o 4 cadenas de ácido nucleico coaxiales por unidad helicoidal, y que tiene grupos fosfato cerca del exterior". Esto fue 16 meses antes de J. D. Watson y F. Crick (premios nobel de medicina en 1962) publicaron su descripción del ADN, que se basó en patrón de difracción de Rosalind Franklin, quien, injustamente no recibió parte este mérito [1-4].

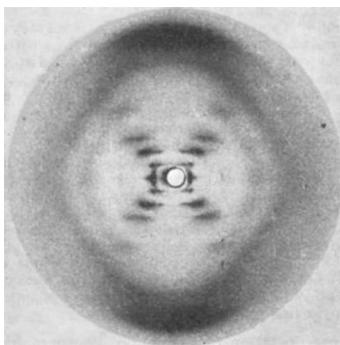


Fig.1. Foto 51, correspondiente al patrón de difracción obtenido por Rosalind Franklin [3].

En este trabajo se proponen experimentos que permiten a seguir los pasos del descubrimiento de Rosalind Franklin y simultáneamente comprender mejor los fenómenos de difracción, que son muy

comunes en diversas áreas de la física, química, biología, etc. La primera parte de este trabajo se recrea el experimento que generó la Foto 51 (Fig. 1), pero no con rayos X, sino con un diodo laser de 532 nm (verde) de divergencia de haz variable de 1000mW. Como muestras de estudio, se diseñan y construyen estructuras macroscópicas llamados phantoms diseñados específicamente para este trabajo y que imitan la estructura básica del ADN para formar patrones de difracción, y también se usa una pantalla bajo condiciones geométricas específicas, en donde se proyectan los patrones de difracción generados para ser fotografiados. Esta primer parte del trabajo consta de 5 etapas, a saber: (i) se infiere la estructura de la doble hélice de objetos que imitan el ADN, (ii) se determinan las dimensiones de dichas estructuras, (iii) se recrean los cálculos de la llamada fotografía 51 de Rosalind Franklin, (iv) se da la explicación teórica básica de los fenómenos de difracción, y (v) se da una simulación numérica del experimento. Lo anterior permite abordar el tema de difracción de una manera más clara y práctica para los estudiantes estén interesados en aspectos de la difracción de la materia.

La difracción la difracción es un fenómeno característico de las ondas que se basa en la desviación de estas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija. La difracción ocurre en todo tipo de ondas, desde ondas sonoras hasta ondas electromagnéticas como los rayos X. La cristalografía de rayos X o difracción de rayos X es una técnica experimental para el estudio y análisis de materiales, basada en el fenómeno de difracción de los rayos X por sólidos en estado cristalino, en donde los rayos X son difractados por los electrones que rodean los átomos por ser su longitud de onda del mismo orden de magnitud que el radio atómico. El haz de rayos X emergente tras esta interacción contiene información sobre la posición y tipo de átomos encontrados en su camino. Los cristales, gracias a su estructura periódica, dispersan elásticamente los haces de rayos X en ciertas direcciones y los amplifican por interferencia constructiva, originando un patrón de difracción. Existen varios tipos de detectores especiales para observar y medir la intensidad y posición de los rayos X difractados, y su análisis posterior por medios matemáticos permite obtener una representación a escala atómica de los átomos y moléculas del material estudiado [4-5].

En una segunda parte de este trabajo, se presenta una breve discusión sobre los polémicos aspectos históricos referentes al descubrimiento de la estructura del ADN por parte de Rosalind Franklin y el premio Nobel de 1962 otorgado a Watson, Crick y Wilkins, haciendo énfasis en que Rosalind Franklin debería ser parte de tan prestigiada distinción, sobre todo por la relevancia de este descubrimiento para las Ciencias Naturales.

## PROPUESTA DE EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

*Experimento (i)* inferir la estructura de la doble hélice de objetos que imitan la estructura del ADN. Esta es una variación del experimento de una rendija que permite ver un patrón de difracción similar al de Rosalind Franklin y determinar el ángulo de inclinación  $\alpha$  de la hélice, Fig. 2.

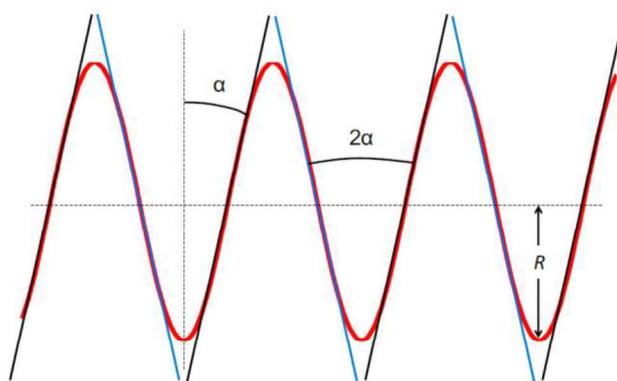


Fig. 2. Onda sinusoidal con ángulo alfa y radio R que imita el ADN.

Con un resorte de un típico resorte de un bolígrafo retráctil, que imita a una hélice simple como la del ADN, realizamos el arreglo experimental mostrado en la Fig. 2-A, con lo que podemos producir el patrón de difracción que se muestra en la Fig. 2-B y que es muy similar al obtenido por Rosalind

Franklin (Fig. 1). Se utilizó un láser tipo diodo con longitud de onda verde (532 nm) con una potencia de 1000 mW y de marca genérica. El phantom usado fue un resorte de un bolígrafo que tiene una forma sinusoidal. La pantalla fue la pared de nuestro laboratorio en completa oscuridad. La distancia entre el láser y el resorte no importa, mientras que la distancia entre el phantom y la pantalla fue de 11 m. Todas las demás variables atmosféricas fueron las estándares.

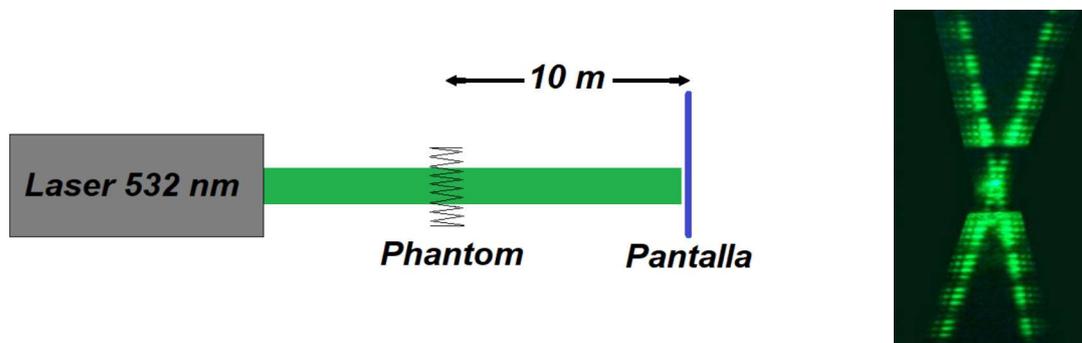


Fig.2. a) Arreglo experimental empleado, b) Patrón de difracción generado.

El principio de Babinet establece que el patrón de difracción de un obstáculo es el mismo que el patrón de difracción de una apertura de la misma forma [5]. De acuerdo con este principio, el patrón de difracción formado por las dos secciones rectas del resorte (uno en cada lado) es equivalente al patrón de difracción de dos rendijas orientadas en cierto ángulo respecto a la horizontal (Fig. 2). Al comparar el patrón de difracción de la hélice del resorte con el de la Fig. 1, el estudiante comprenderá de inmediato la conclusión a la que llegó Rosalind Franklin de que el ADN tiene una forma helicoidal. Los estudiantes avanzados pueden deducir el ángulo de inclinación  $\alpha$  del resorte helicoidal midiendo el ángulo entre las dos rayas principales del patrón de difracción y dividida entre dos. Pueden hacer algo similar con la Fotografía 51. La Tabla 1 muestra los resultados para este trabajo.

Tabla 1. Comparación de resultados en este experimento con los de Rosalind Franklin				
	Phantom (resorte)		ADN	
	Difracción en este experimento	Usando vernier y transportador	Difracción según literatura actual	Resultado de Rosalind Franklin
<b><math>2\alpha</math></b>	19°	20°	71°	72°
<b>Valor de P (ec. 2)</b>	1.79 mm	1.9 mm	3.4 mm	3.4 mm
<b>Valor de R (ec. 4)</b>	1.70 mm	2.0 mm	0.74 nm	~1nm

En su artículo que apareció en *Nature*, en el mismo número del trabajo de J. D. Watson y F. Crick, Rosalind Franklin determinó el radio de la hélice del ADN [3]. Pero esto se explicará en experimento (ii). Por ahora la única información que podemos obtener desde la distancia entre los mínimos del patrón de difracción y el grosor del alambre  $a$  del resorte. Los mínimos en el patrón de difracción ocurre en los ángulos  $\theta_{min}$  dado por:

$$a \sin \theta_{min} = m\lambda \dots (1)$$

La molécula de ADN no tiene un "espesor" porque el patrón de difracción de rayos X en realidad mide la ubicación de los núcleos de fósforo. Esto se puede verificar directamente con un vernier.

*Experimento (ii)* Determinan las dimensiones de estructuras tipo ADN. Es necesario que el láser ilumina completamente el phantom en la horizontal para así proceder con los siguientes cálculos y

calcular el radio de la hélice  $R$  y la separación  $P$  que es la separación de cresta a cresta en la sinusoidal formada y que está dada por:

$$P = \frac{d}{\cos \alpha} \dots (2)$$

Los máximos en el patrón de difracción ocurren en ángulos  $\theta_{min}$  según la ecuación:

$$d \sin \theta_{min} = m\lambda \dots (3)$$

A una distancia  $D$  dada por  $D \geq w^2/l$ , donde  $w$  es el diámetro del haz y  $\lambda$  es la longitud de onda, el patrón de difracción es un patrón de difracción de campo lejano [1-4]. Para obtener un patrón de difracción de campo cercano, acercamos la pantalla hasta obtener una mancha puntual en la pantalla. El patrón de difracción de campo lejano en la pantalla es reconocible por el punto brillante pero pequeño en el centro. En los mínimos hay algunos puntos brillantes pero débiles en el patrón de difracción. Estos mínimos ocurren debido a la interferencia causada por espesor de cada alambre individual. Escogimos el octavo máximo desde la mancha central, medimos su distancia al punto brillante central (26 mm) y con la ec. (3) pudimos calcular la constante de del phantom  $d$ , es decir, la distancia entre alambres paralelos (1.8 mm). Como ya se conoce la constante  $d$  y el ángulo de inclinación  $\alpha$ , podemos calcular  $P$  usando ec. (2). Midiendo la distancia de uno de los mínimos más amplios a la mancha central se encuentra el espesor del alambre. El radio se puede encontrar de la siguiente manera ( $P$  el periodo).

:

$$\frac{2\pi R}{P} = \tan(90^\circ - \alpha)$$

*Experimento (iii)* Cálculos de la fotografía 51. Los estudiantes pueden aplicar las mismas consideraciones previas a la Fotografía Foto 51 (Fig. 1), donde el tamaño original de con un diámetro de 94 mm). Supusimos que Rosalind Franklin utilizó la longitud de onda de la línea  $K\alpha$  de cobre ( $\lambda = 0.15$  nm). Esto nos permite trabajar hacia atrás y determinar una distancia entre muestra y película de aproximadamente 9 cm. Dadas estas dimensiones de la configuración experimental, junto con la foto, los estudiantes pueden determinar el ángulo, el valor de  $P$  y  $R$  de la molécula de ADN. El orden cero y los máximos de primer orden son bloqueados por un disco de plomo porque de lo contrario se habría sobreexpuesto la película. Entonces, el orden más cercano al agujero en el centro de la Foto 51 es el segundo orden. Usamos el segundo, tercer y quinto orden calcular el valor de  $P$  de acuerdo con las ecs. (2) y (3). Rosalind Franklin atribuyó correctamente el cuarto orden faltante en el patrón de difracción a una segunda hélice, por lo que se tendría el modelo de la doble hélice que todos conocemos. La doble hélice (ver Fig. 5), que está desfasada 3/8 de la otra helicoidal "La unidad estructural probablemente consta de dos moléculas coaxiales que son igualmente espaciados a lo largo del eje de la fibra,... Si una hélice es desplazado del otra por aproximadamente tres octavos del eje, esto explicaría la ausencia de la cuarta banda la debilidad de la sexta. "El cuarto máximo del patrón de difracción ocurre precisamente en el mínimo de segundo orden del patrón debido al espaciado entre las hélices, de forma similar los puntos brillantes del patrón de difracción no aparece cuando ocurren como un mínimo del patrón de una sola rendija. Los patrones de cada hélice están desfasados entre sí en este momento, por lo que no aparece una zona brillante. Esto puede ser verificado por el estudiante con la ecuación  $n\lambda = d \sin \theta$ , mostrando que cuando  $n = 4$  se tiene un máximo del total en el patrón de difracción [1-5].

La Tabla I ofrece una visión general de los resultados obtenidos para el phantom utilizado de la hélice del resorte que utilizamos y el ADN.

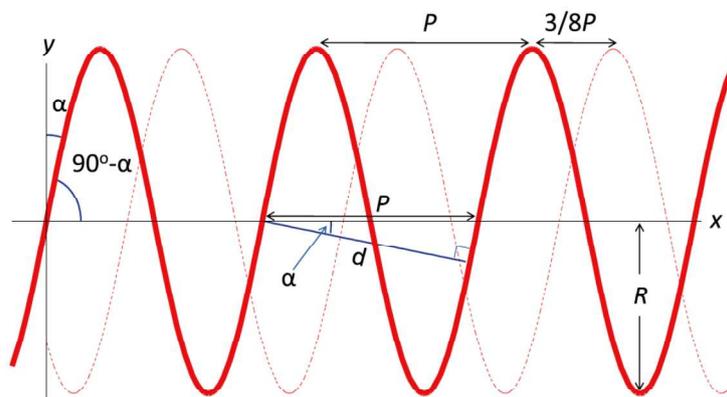


Fig. 5. Parámetros  $d$ ,  $P$  y  $\alpha$ , así como la hélice secundaria desplazada  $3/8$  de  $P$ .

*Experimento (iv)* Explicación teórica básica de los fenómenos de difracción. En física, la difracción es un fenómeno característico en ondas, basado en la desviación de estas al encontrar un obstáculo o al atravesar una rendija, la difracción ocurre en todo tipo de ondas. También sucede cuando un grupo de ondas de tamaño finito se propaga; por ejemplo, un haz colimado de ondas de luz de un láser debe finalmente divergir en un rayo más amplio a una cierta distancia del emisor por efectos de la difracción. La difracción puede ser entendida usando el principio de Huygens, según el cual un frente de onda se puede visualizar como una sucesión de emisores puntuales, que reemiten la onda al oscilar, en respuesta a ella y contribuyen así a su propagación. Aunque cada oscilador individual genera una onda esférica, la interferencia de todas ellas da lugar a una onda plana que viaja en la misma dirección que la onda inicial. Cuando el frente de onda encuentra un obstáculo los emisores correspondientes al extremo del frente de onda obstruido no tienen otros emisores que interfieran con las ondas que ellos generan, y estas se aproximan a ondas esféricas o cilíndricas. Como consecuencia, al adoptar el frente de onda una forma redondeada en donde fue recortado, la dirección de propagación de la onda cambia, girando hacia el obstáculo [5].

Los efectos de la difracción pueden representarse matemáticamente usando dos aproximaciones distintas. La difracción de Fraunhofer permite estimar el comportamiento del fenómeno producido por un obstáculo situado a una distancia lo suficientemente alejada de la zona de estudio. Otra es la difracción de Fresnel, que toma en cuenta el carácter vectorial de las elongaciones de las ondas, permitiendo realizar predicciones en las cercanías del obstáculo que produce la difracción. La difracción es una consecuencia de la ecuación de onda. Cabe mencionar que la difracción es una de los cinco fenómenos de la luz en la que se encuentran la reflexión, refracción, interferencia y polarización.

La difracción y la interferencia son fenómenos inseparables, al punto que no es siempre sencillo distinguirlos. Esto es debido a que la difracción es una forma particular de interferencia. Citando a Richard Feynman: "Nadie ha sido capaz de definir la diferencia entre interferencia y difracción de forma satisfactoria. Es solo una cuestión de uso, sin diferencias físicas importantes".

La interferencia se produce cuando la longitud de onda es mayor que las dimensiones del objeto, por tanto, los efectos de la difracción disminuyen hasta hacerse indetectables a medida que el tamaño del objeto aumenta comparado con la longitud de onda. En el espectro electromagnético los rayos X tienen longitudes de onda similares a las distancias interatómicas en la materia. Es posible por lo tanto utilizar la difracción de rayos X como un método para explorar la naturaleza de los cristales y otros materiales con estructura periódica. La difracción producida por una estructura cristalina verifica la ley de Bragg [1,4,5].

*Experimento (v)* Simulación numérica del experimento. De acuerdo con el principio de Huygens, un patrón de difracción es generado por todas las ondas elementales que emergen de una apertura. Por lo tanto, podemos calcular el patrón de difracción integrando sobre todas las ondas sinusoidales que emergen en la dirección de  $x$  y de  $y$  desde el phantom [1,2,5]. El resorte helicoidal puede ser aproximado por una apertura sinusoidal que está formada por dos funciones:

$$R \sin\left(\frac{2\pi x}{p}\right) + \frac{a}{2} \text{ y } R \sin\left(\frac{2\pi x}{p}\right) - \frac{a}{2}$$

donde  $x_1 < x < x_2$ . El patrón de difracción  $F^2(k_x, k_y)$  está dado por la siguiente integral de área:

$$F(k_x, k_y) = \int_{x=x_1}^{x=x_2} \int_{y=R \sin \frac{2\pi x}{p} - \frac{a}{2}}^{y=R \sin \frac{2\pi x}{p} + \frac{a}{2}} \sin k_x x \sin k_y y \, dx \, dy$$

El resultado es una función de las frecuencias espaciales  $k_x$  y  $k_y$ . Estudiantes con experiencia en software matemático como *Maple* o *Mathematica* pueden divertirse generando este patrón en la pantalla de la computadora y compararlo con el experimental. Asignando valores podemos tener que:

$$\text{abs} \left( \int_{x=-3.5}^{x=+3.5} \int_{y=2 \sin 4.19x - 0.25}^{y=2 \sin 4.19x + 0.25} \exp(ik_x x) \exp(ik_y y) \, dx \, dy \right)$$

Es importante notar que estas dos últimas ecuaciones son el campo eléctrico de las ondas electromagnéticas, mientras que lo que vemos en las imágenes son distribuciones de la intensidad de la luz, por lo que es necesario calcular el módulo. Estos experimentos permiten a los estudiantes comprender un vital descubrimiento en la unión de la física, la biología y la química, y comprobar una aplicación de difracción de todas las disciplinas. Tales descubrimientos interdisciplinarios son invaluable en despertar el interés entre estudiantes de física o de otras áreas del conocimiento.

#### *Análisis Histórico del trabajo de Rosalind Franklin*

Durante Diez mil años atrás, y simultáneamente en diversas regiones del mundo, se dio un hecho que cambiaría la historia de la humanidad: el origen de la agricultura. Hoy sabemos que las mujeres contribuyeron a ello de forma decisiva, ya desde la Prehistoria, seleccionando variedades de plantas silvestres con las que hicieron sus primeros experimentos. Otras muchas continuaron con la observación, la experimentación y la transmisión de conocimientos y prácticas, generando biodiversidad y miles de variedades cultivables. Aunque no basaron sus avances en conocimientos teóricos de física, bioquímica o genética, es innegable el saber acumulado, la importancia y trascendencia de sus hallazgos y la ciencia implícita en ellos. Su contribución a la mejora genética ha hecho posible una buena parte de nuestra alimentación, integrando e interrelacionando un buen número de saberes. Diez mil años más tarde, la Genética sigue con enigmas por resolver. Las investigaciones en este campo han resultado esenciales en áreas como la agricultura y la salud. Y todo gracias al descubrimiento de una estructura molecular compleja, que por mucho tiempo supuso un enigma para la ciencia. Y sí, eso también fue obra de una mujer.

Recolectar y extraer semillas nos permite rendir tributo a ese legado ancestral que tradicionalmente ha estado custodiado por mujeres de prácticamente cualquier rincón del mundo. Ellas, históricamente, han sido guardianas de semillas y de la selección de los mejores cultivares, buscando aquellas características que mejor se ajustaban a sus necesidades y su territorio, extrayéndolas, conservándolas, cultivándolas, intercambiándolas y generando variedades con nuevas propiedades. Ciencia empírica que se nutre de una larga experiencia acumulada y que representa un claro ejemplo de intercambio y mejora genética. Así, estas semillas campesinas se han convertido en un fruto de la coevolución entre personas y plantas, generando un conocimiento tradicional que ha permitido alimentarnos incorporando más de siete mil especies de cultivo a lo largo de la historia. Un dato asombroso teniendo en cuenta que, actualmente, apenas son cuatro (patata, arroz, maíz y trigo) las especies que abastecen más del cincuenta por ciento de nuestra alimentación. La biodiversidad se expresa en la gran variabilidad de especies que cohabitamos el planeta y muestra hasta qué punto la vida se adapta a las circunstancias de su entorno: hay cerca de cuatro mil variedades distintas de patata, diez mil de tomate y treinta mil de trigo. Aunque lo correcto sería decir que había, pues esas cifras se han reducido drásticamente por causa de un modelo de

producción que tiende a homogeneizar los cultivos, sin tener en consideración las variables que configuran su adaptabilidad. Un tema más que preocupante, pues perder biodiversidad supone perder oportunidades de supervivencia ante los cambios. Esta biodiversidad se debe, en parte, a información genética cifrada en el ADN celular, una molécula, cuyas siglas se corresponden con "ácido desoxirribonucleico". Su composición química incorpora un grupo fosfato, un azúcar y una base nitrogenada. Son solo cuatro las bases: adenina, citosina, timina y guanina, y su combinación en parejas responde a un código que las enlaza en torno a una doble hélice: una hélice entre las dos cadenas que conforman la molécula y, una segunda, alrededor de un eje central. Geométricamente hablando, esta estructura otorga una gran fortaleza y le permite replicarse a sí misma, al desdoblarse. Las propiedades del ADN están vinculadas a esa doble hélice que conforma su estructura. Descubrirla fue el primer paso para entender su funcionamiento y descifrar sus enigmas. De ahí que no resulte extraña la trascendencia que tuvo el artículo que, en 1952, publicaron James Watson y Francis Crick describiendo la molécula que almacena y transmite esta información hereditaria. Tampoco que les condujera al Nobel en 1962, premio que compartieron con M. Wilkins. Pero sí es de extrañar que por años se haya obviado la figura de una extraordinaria científica que contribuyó notablemente a su descubrimiento: Rosalind Franklin (Fig. 6).



Fig. 6. Rosalind Franklin. Rosalind Franklin, olvidada por sus colegas y por la academia.

*El descubrimiento de la doble hélice y Rosalind Franklin.* Nacida en Londres en 1920, esta científica contribuyó, entre otros, al avance de la genética y al nacimiento de una nueva disciplina: la biología molecular. Franklin consiguió fotografiar nítidamente la estructura de doble hélice del ADN, uno de los descubrimientos científicos más remarcables del siglo XX y que, sin embargo, nunca le fue reconocido en vida, permaneciendo en la sombra por más de veinte años. Así, a través de técnicas de cristalografía de Rayos X, adquiridas a su paso por París y aplicadas en el *King's College* de Londres, consiguió la famosa fotografía. Ésta y otros avances de su trabajo llegaron a través de Wilkins, su compañero de laboratorio, a manos de Watson y Crick, rara vez con conocimiento ni consentimiento de su autora. Vaya, que cayó en manos de un trío de científicos caraduras de dudosa honestidad [6,7].

En el artículo que les llevó al Nobel, tan sólo agradecen vagamente los resultados experimentales no publicados y las ideas de Rosalind Franklin; excelente ejemplo de cómo subestimar su trabajo. Años más tarde, fue citada por Watson de forma estereotipada, como mujer grotesca, poco atractiva, rígida, agresiva, altiva, inflexible y nada femenina. Ese hombre, no solo se aprovechó del hallazgo de Franklin, sino que procuró el modo de desprestigiarla. Una muestra del carácter misógino y machista con el que se le ha tildado.

Lo que pasó con el trabajo de esta científica es una práctica que, lamentablemente, no constituye un caso aislado. Es lo que se ha dado en llamar 'efecto Matilda', concepto con el que Margaret W. Rossiter definió el olvido consciente y sistemático que habían sufrido las mujeres científicas e

investigadoras. Este pone de manifiesto diversas formas de discriminación hacia las mujeres, al tiempo que refleja la negación de aportaciones, descubrimientos y trabajo de muchas científicas, otorgando su autoría a compañeros de investigación.

Rosalind Franklin murió con tan sólo 37 años de edad; posiblemente a causa de la exposición a Rayos X, que entonces se realizaba sin protección y que provocó el cáncer de ovarios que causó su muerte. Como el Nobel no se entrega a título póstumo, sus logros jamás fueron reconocidos por la Academia. Su paso por Francia marcó su carácter y costumbres, dificultando su estancia en el King's College, donde la enrarecida relación con Wilson y "trivialidades", a juicio de Crick, como que tomar café en la sala de profesores estuviera prohibido a las mujeres, incidieron en su ingreso en el Birbeck College. Allí, su trabajo sobre virus, configuró la base por la que su colega Aaron Klug ganaría el Nobel en 1982. Otra muestra más de su gran capacidad.

Pero vayamos a sus orígenes. Logró estudiar gracias al apoyo de su madre y de su tía, que corrió con los gastos que le permitieron acceder a estudios de ciencias, cuando su padre, que opinaba que las ciencias eran cosa de hombres, le retiró momentáneamente su asignación. Ingresó en una de las pocas escuelas que admitían mujeres y obtuvo las mejores notas de su clase y unas de las más altas de acceso a Cambridge, donde se graduó en Física y Química y se doctoró. El objeto de estudio de su tesis fue la estructura del carbón para mejorar los filtros de las máscaras de gas, investigación orientada, en plena Segunda Guerra Mundial, a proteger la vida. Esa vida que, en parte, la ciencia explica.

*Hechos, experiencias, experimentos, ciencia y vida.* "La ciencia explica parte de la vida. Hasta donde llega, se basa en hechos, experiencias y experimentos", dijo Franklin. Esta frase nos remite a ese aprendizaje vivencial, donde la vida se manifiesta y nos invita a emocionarnos con ello. A veces es preciso esperar. Como cuando toca sembrar las semillas que con esmero y tiempo atrás hemos recolectado, procesado, secado y guardado. Y es que la información que esconden sus genes las hace sensibles a características del medio que permiten (o inhiben) su nacimiento. Me maravilla pensar que toda esa información se encuentra en esa doble hélice que Franklin logró fotografiar, una imagen que permitió avances significativos para desvelar los enigmas de la vida y toda su manifestación. Han pasado diez mil años y seguimos teniendo interrogantes por descifrar. La vida es compleja, y ese código genético y su manifestación aún presentan muchas incógnitas, en las que hoy sabemos que interviene también, y decisivamente, el entorno. Descubrir las, en el futuro, será tarea de científicas del presente que, como Rosalind Franklin, procuren su explicación.

## CONCLUSIONES

Se presentan los avances de la recreación del experimento que llevó a la química y cristalógrafa Rosalind Franklin a inferir la estructura helicoidal de doble cadena del ADN. Se recrea el experimento no con rayos X, sino con un diodo laser de 532 nm (verde) de divergencia de haz variable de 1000mW. Como muestras de estudio, se diseñan y construyen estructuras macroscópicas bidimensionales y tridimensionales (phantoms) que imitan la estructura básica del ADN para formar patrones de difracción, y también se usa una pantalla bajo condiciones geométricas específicas, en donde se proyectan los patrones de difracción generados para ser fotografiados. Se proponen cinco experimentos: (i) se infiere la estructura de la doble hélice de objetos que imitan el ADN, (ii) se determinan las dimensiones de dichas estructuras, (iii) se recrean los cálculos de la llamada fotografía 51 de Rosalind Franklin, (iv) se da la explicación teórica básica de los fenómenos de difracción, y (v) se propone una simulación numérica del experimento. En la segunda parte de este trabajo, se presenta una breve discusión sobre los polémicos aspectos históricos referentes al descubrimiento de la estructura del ADN por parte de Rosalind Franklin y el premio Nobel de 1962 otorgado a Watson, Crick y Wilkins, haciendo énfasis en que Rosalind Franklin debería ser parte de tan prestigiada distinción, sobre todo por la relevancia de este descubrimiento para las Ciencias Naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Lucas, A. A., et al. "Revealing the backbone structure of B-DNA from laser optical simulations of its X-ray diffraction diagram." *Journal of chem. education* 76.3 (1999): 378.

2. Braun, Gregory, Dennis Tierney, and Heidrun Schmitzer. "How Rosalind Franklin discovered the helical structure of DNA: Experiments in diffraction." *The Physics Teacher* 49.3 (2011): 140-143.
3. Franklin, Rosalind E., and Raymond G. Gosling. "Molecular configuration in sodium thymonucleate." *Nature* 171.4356 (1953): 740.
4. Crouse, David T. "X-ray diffraction and the discovery of the structure of DNA. A tutorial and historical account of James Watson and Francis Crick's use of x-ray diffraction in their discovery of the double helix structure of DNA." *Journal of Chemical Ed.* 84.5 (2007): 803.
5. Cullity, Bernard Dennis. "Elements of X-ray Diffraction." (2001).
6. Sayre, Anne. "Rosalind Franklin and DNA: A vivid view of what it is like to be a gifted woman in an especially male profession." New York (1975).
7. Maddox, Brenda. *Rosalind Franklin: The dark lady of DNA*. New York: HarperCollins, 2002.