



Rosalind Franklin (1920-1958)

José L. Fresquet Febrer
Universitat de València, España

Versión en pdf de:
<http://www.historiadelamedicina.org/franklin.html>

Febrero, 2017

–Franklin, R.E. (1950). A rapid approximate method for correcting the low-angle scattering measurements for the influence of the finite height of the X-ray beam. *Acta Crystallographica*, vol. 3 (2): 158-159.

–Franklin, R.E. (1950). The interpretation of diffuse X-ray diagrams of carbón. *Acta Crystallographica*, vol. 3 (2): 107-121.

–Franklin, R.E. (1953). The role of water in the structure of graphitic acid. *Journal de Chimie Physique et de Physico-Chimie Biologique*, vol. 50: C26

–Franklin, R.E. (1953). Graphitizing and nongraphitizing carbon compounds. Formation, structure and characteristics. *Brenstoff-Chemie*, vol. 34: 359-361

–Franklin, R.E.; Gosling, R.G. (1953). Molecular Configuration in Sodium Thymonucleate. *Nature*, vol. 171 (4356): 740-741.

–Franklin, R.E.; Gosling, R.G. (1953). Evidence for 2-chain

Durante el segundo tercio del siglo XX tres grupos en el mundo se encontraban estudiando la molécula del ADN. Uno en los Estados Unidos dirigido por Linus Pauling en el Instituto de Tecnología de California. Investigaba las proteínas y en 1951 publicaron un trabajo en el que se proponía un modelo de la configuración de las proteínas complejas en la alfa-hélice. Después su interés se dirigiría al ácido desoxirribonucleico. Otro científico, esta vez en Inglaterra, estaba estudiando el ADN en el esperma de carnero y el timo de ternera con difracción de rayos X. Se trata de Maurice Wilkins que entonces se encontraba en el Laboratorio de Biofísica del King's College. Logró aplicar la técnica a moléculas que no estaban cristalizadas y en 1950 presentó a un congreso que se celebró en Nápoles una fotografía del ADN tomada con la misma. Por otro lado, James Watson, zoólogo, genetista y biólogo molecular, al ver la fotografía quiso aprender cristalografía para estudiar también el ADN. A través de Salvador Luria consiguió permiso para realizar estudios postdoctorales en el Laboratorio Cavendish, de Cambridge. Allí conoció a Francis Harry C. Crick, físico y biólogo molecular. Formando parte del grupo liderado por Perutz y Kendrew estudiaba las macromoléculas, especialmente el ADN. Por tanto: el Instituto de Tecnología de California, el Laboratorio Cavendish, de Cambridge, y el King's College, de Londres, donde se integró Rosalind Franklin [1].

Rosalind Franklin nació en Londres el 25 de julio de 1920. Su padre se llamaba Ellis Franklin (1894–1964), procedía de una familia de Polonia que se trasladó a Inglaterra en el siglo XVIII; hizo fortuna con los negocios. Su madre, Muriel Walley (1894–1976), venía de una familia judía religiosa y filantrópica donde algunos de sus miembros destacaron como profesores, intelect-

helix in crystalline structure of sodium desoxyribonucleate. Nature, vol. 172: 156-157.

–Franklin, R.E. ; Gosling, R.G. (1953). The structure of sodium thymonucleate fibres. I. The influence of water content. Acta Cryst. Vol. 6: 673-677.

–Franklin, R. E.; Gosling, R. G. (1953). The structure of sodium thymonucleate fibres. II. The cylindrically symmetrical Patterson function. Acta Crystallographica, vol. 6 (8): 678-685.

–Franklin, R.E.; Mering, M. (1954). La structure de l'acide graphitique. Acta Crystallographica, vol. 7 (10): 661-661.

–Franklin, R.E.; Holmes, K.C. (1956). The Helical Arrangement of the Protein Sub-Units in Tobacco Mosaic Virus. Biochimica et Biophysica Acta, vol. 21: 405-406.

–Franklin, R.E.; A. Klug, A. (1956). The nature of the helical groove on the tobacco mosaic virus particle X-ray diffraction studies. Biochimica et Biophysica Acta, vol.19 (3): 403-416.

–Klug, A.; J. T. Finch., J.T.; Franklin, R.E. (1957). The Structure of Turnip Yellow Mosaic Virus: X-Ray Diffraction Studies. Biochimica et Biophysica Acta, vol. 25 (2): 242-252.

–Franklin, R.E.; Klug, A.; Finch, J.T.; Holmes, K.C. (1958). On the Structure of Some Ribonucleo-protein Particles. Discussions of the Faraday Society, vol. 25: 197-198.

–Klug, A.; Franklin, R. (1958). Order-Disorder Transitions in Structures Containing Helical Molecules. Discussions of the Faraday Society , vol. 25: 104-110.

–Klug, A.; Franklin, R.E.; Hum-

tuales y parlamentarios. Rosalind tuvo otros cuatro hermanos [2].

Realizó sus primeros estudios en Nordland Place, un colegio mixto situado al oeste de Londres. Después lo hizo en la Escuela Lindores para señoritas en Sussex y, más tarde, a los once años, en St. Paul Girl School, establecimiento también para mujeres y de los pocos lugares donde se enseñaba matemáticas, física y química [3]. Allí mostró interés por las ciencias, el latín y los deportes, y aprendió alemán y francés. Durante las vacaciones aprovechaba para viajar por otros países europeos.

Tras aprobar el examen de ingreso, en 1938 entró en la Universidad de Cambridge. Cursó física y química en el Newnham College. Conoció al espectroscopista William Charles Price (1909-1993), que después se convertiría en uno de sus colaboradores en el King's College.

En Cambridge se encontraba también el conocido Laboratorio Cavendish en el que habían trabajado populares físicos de principios del siglo XX. Este centro fue fundado en 1868 con el objetivo de fomentar la física experimental. Fue sufragado por William Cavendish, duque de Devonshire y descendiente de Henry Cavendish (1731-1810), descubridor del hidrógeno. El primero en ocupar la cátedra fue Clerk Maxwell (1831-1879) estudioso de las ondas electromagnéticas. A su muerte le siguió William Strutt (1842-1919) quien la dejó a los cinco años. Fue sustituido por J.J. Thompson. Entre los estudiantes se encontraba Ernest Rutherford. Hay que señalar que la dirección del laboratorio le fue ofrecida en tres ocasiones a William Thompson, quien la rechazó otras tantas veces [4].

El último año de carrera Rosalind conoció a Adrienne Weill, una refugiada francesa que había sido alumna de Marie Curie y que logró ejercer sobre ella una gran influencia aparte de ayudarle con el francés [5]. Conoció también a William Lawrence Bragg (1890-1971), que ganó el premio nobel en 1915 con su padre William Henry Bragg, por sus contribuciones a la cristalografía de rayos X; al cristalógrafo Max Perutz (1914-2002), y al también cristalógrafo e historiador de la ciencia John Bernal (1901-1971). Este último fue posteriormente su director de investigación.

Todo esto indica que Rosalind se interesó por la cristalografía y la difracción de los rayos X cuando atravesaban un cristal de manera que cada uno de ellos deja una huella de identidad. Aplicó esta técnica al estudio de la materia convirtiéndose en poco tiempo en una reputada especialista.

Durante el mandato de Hitler en el poder ayudó a los refugiados alemanes que huyeron a Gran Bretaña. La guerra le sorprendió en Noruega. Volvió con dificultades a Inglaterra y logró terminar sus estudios en 1941 aunque por esa

phreys-Owen, S.P.F. (1959). The Crystal Structure of Tipula Iridescent Virus as Determined by Bragg Reflection of Visible Light. *Biochimica et Biophysica Acta*, vol. 32 (1): 203-219.

–Franklin, Rosalind, F.E.; Caspar, D.; Klug, A. (1959). Chapter XL: The Structure of Viruses as Determined by X-Ray Diffraction. *Plant Pathology: Problems and Progress, 1908–1958*, University of Wisconsin Press, pp. 447-461.

época la Universidad de Cambridge no otorgaba el grado de licenciado a las mujeres; lo haría a partir de 1947.

Ganó después una beca para el Laboratorio de Física y Química de la Universidad de Cambridge bajo la supervisión de Ronald George Wreyford Norrish (1897-1978), ganador del premio nobel de química en 1967 por sus investigaciones sobre las reacciones químicas rápidas, quien le decepcionó por su falta de entusiasmo y su trato. Afortunadamente la British Coal Utilisation Research Association, donde se investigaba la eficacia de las máscaras de gas, le ofreció una plaza en 1942. En tiempos de guerra Rosalind estudió el carbón, comparó la densidad del helio y pudo terminar su tesis de doctorado en 1945 con el título *La fisicoquímica de coloides orgánicos sólidos con referencia especial al carbón*. Vivió primero en casa de Adrienne Weill y después se trasladó con su prima Irene Franklin. Fue voluntaria como guardia de ataques aéreos y organizó patrullas para salvaguardar el bienestar de las personas durante estos ataques [6].

Finalizada la contienda mundial, en 1947 marchó a París como becaria postdoctoral al Laboratoire Central des Services Chimiques de l'Etat invitada por Jacques Mering (1904-1973). Allí perfeccionó sus técnicas de cristalografía. Aprendió a aplicar el método a sustancias que no eran cristales, como las orgánicas. La técnica consiste en aplicar un haz de rayos X a una estructura e imprimir luego una fotografía con todos los rayos que la han atravesado y que han sufrido una difracción por el objeto interpuesto. Cada sustancia produce un patrón propio. Esto permitió caracterizar muchos compuestos inorgánicos y estudiar su estructura íntima. En París fue consciente de lo que era disfrutar de la libertad lejos del control familiar. Permaneció en la capital francesa hasta 1951. Durante esta etapa publicó más de una decena de trabajos [7].

A su regreso a Inglaterra Rosalind recibió la beca Turner and Newall para un periodo de tres años para trabajar en el King's College, de la Universidad de Londres. En enero de 1951 empezó como asociada en la Unidad de Biofísica del Consejo de Investigación Médica que dirigía John Randall (1905-1984), un héroe por haber inventado el magnetrón, pieza básica del radar. En ese momento trabajaban en el estudio del ADN y la llegada de Franklin suponía una excelente aportación. Sin embargo, al poco de llegar su posición no estaba bien definida y no se llevaba bien con Maurice Wilkins. Rosalind tenía un carácter fuerte, Wilkins era tímido y Randall no percibió la situación. Otros aspectos también molestaron a Rosalind como que existiera una sala en la que se reunían los hombres para fumar, hablar y tomar el té y en la que no se permitía el acceso a las mujeres. Trabajó muy sola, únicamente con el becario que le asignaron, Raymond Gosling, que ya había colaborado con Wilkins [8].

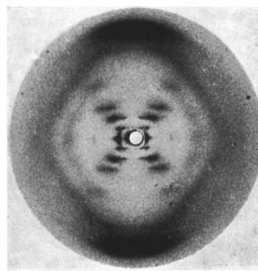
Con sus técnicas Franklin mejoró las investigaciones de

Wilkins [9] y certificó la existencia de dos estados del ADN, la A (deshidratado o forma seca) y la B (hidratado o húmedo). Debido a las malas relaciones personales, Randall dividió el trabajo. Franklin se encargaría de la forma A y Wilkins de la B [10].

Mientras tanto, Watson, el único biólogo entre los que estudiaban el ADN, era consciente de la importancia que tenía conocer la estructura de esta molécula para la genética. Parece que tenía prisa en investigar el tema y formó equipo con Crick. Sin embargo, sus teorías necesitaban apoyarse en algo sólido como los estudios de cristalografía. Ambos conocían a Wilkins, pero sabían que la verdadera experta era Rosalind.

Por su lado Pauling [11] creó un modelo físico de su teoría que posteriormente los estudios de cristalografía corroboraron. No se aceptaba un modelo sin un apoyo matemático e imágenes de difracción de rayos x que lo sustentara. En eso andaban trabajando precisamente Watson y Crick en el Laboratorio Cavendish.

Wilkins realizó una fotografía del ADN B en 1951 que podía sugerir la estructura helicoidal [21]. En un principio Franklin no aceptaba que la forma A lo fuera también. Con el tiempo obtuvo imágenes nítidas de la estructura del ADN B en mayo de 1952 (la conocida fotografía número 51) [13]. Interpretó la estructura helicoidal que en cada vuelta de hélice contenía unidades o bloques. Si ambos científicos hubieran colaborado quizás la historia se hubiera escrito de diferente forma. Algunos se preguntan si fue consciente de la importancia del hallazgo. La cuestión es que dejó guardada la fotografía y los informes en un cajón [14].



Fotografía n° 51

En enero de 1953 Watson hizo una visita a Wilkins en el King's College. Trabajaba en el mismo laboratorio que Rosalind. Éste, sin que lo supiera su compañera, le mostró la fotografía 51 [15]. Era clave para deducir la estructura del ADN. El patrón de manchas puso de manifiesto claramente que la molécula era una hélice. Además, tanto él como Crick, tuvieron acceso a un informe confidencial de Randall a través de Perutz. El hallazgo les orientó hacia la construcción de un modelo físico tridimensional para ver cómo podían encajar los enlaces. Probaron modelo tras modelo hasta que en febrero de 1953 encajaron todas las

piezas del rompecabezas según mostraba la fotografía de Franklin. Se trataba de dos espirales girando y formando una especie de escalera de caracol. Los escalones eran las bases de las que sólo había cuatro clases y se agrupaban por pares. Cada escalón era un par. La forma aquí desempeña un papel vital en la manera de funcionar el ADN, porque la doble hélice puede dividirse perfectamente y recuperar después su forma. Se había dado el primer paso para conocer el secreto de la vida. En los sesenta lograron descifrar, además, el código genético [16].

En 1953 Rosalind acabó aceptando que ambas formas de ADN, la A y la B, estaban formadas por dos hélices. Escribió tres trabajos, dos de los cuales contenían un esqueleto ADN de doble cadena. Los dos primeros aparecieron en *Crystallographica* el 6 de marzo de 1953, poco antes de que Watson y Crick completaran su modelo de ADN B. Corrigió uno de ellos que estaba en pruebas en el mes de julio de ese año como consecuencia de haber conocido los trabajos de los equipos del King's College y de Cambridge. El tercer borrador, que hablaba de la forma B del ADN, lo encontró su colega Aaron Klug, compañero en Birkbeck, entre otros documentos. Publicó una evaluación sobre la correlación existente entre el borrador y el tercer artículo del trío original de *Nature* del 25 de abril de 1953 (el de Watson y Crick, el de Wilkins y Wilson, y el de Franklin y Gosling) [17]. De esta forma puso de manifiesto la significativa contribución que Franklin aportó al conocimiento de la estructura del ADN ante lo que manifestaba Watson en su libro *La doble hélice* [18].

El 25 de abril Watson y Crick publicaron en *Nature* un breve artículo titulado "Una estructura para el ácido desoxirribonucleico" [19]. En una nota a pie reconocen "haberse sentido estimulados por el conocimiento de las contribuciones "no publicadas" de "Franklin y Wilkins". En el mismo número se publicó otro trabajo de Wilkins y H.R. Wilson en el que se comentaba la teoría de la difracción de rayos x por estructuras helicoidales e incluía un diagrama poco claro de difracción de rayos x de una fibra de DNA cuya interpretación no se ajustaba demasiado al esquema teórico. Finalmente se incluía, como se ha dicho, el artículo de Franklin y Gosling "Configuración molecular en el timonucleato sódico" en el que aparecía una fotografía nítida y definida de desoxirribonucleico sódico de timo de ternera, estructura B. Sin embargo, el primero de los tres estudios, de redacción más asequible e interesante, fue el que realmente impactó en la comunidad científica [20].

En mayo de 1953 Watson y Crick también publicaron en *Nature* el no menos importante trabajo "General implications of the structure of deoxyribonucleic acid" [21] y en 1954, en los *Proceedings* de la Royal Society, "The Complementary structure of doxyribonucleic acid" [22].

Watson y Crick se aprovecharon asimismo de los trabajos de Erwin Chargaff (1905-2002) que con el uso de la luz ultravioleta y la técnica recién descubierta de cromatografía de papel, identificó la adenina, guanina, citosina y timina y que las cantidades de adenina-timina de un lado y las de guanina-citosina, por otro, eran idénticas. Posteriormente experimentos de Matthew Meselson (1930-), discípulo de Pauling, con el uso de una ultracentrifugadora, confirmó las predicciones de Watson y Crick.

En 1953 Rosalind Franklin abandonó el King's College y se trasladó al Birbeck College con Bernal, comunista irlandés que trabajaba con el virus del mosaico del tabaco. A pesar de sus formas de pensar diferentes colaboraron y determinaron que el virus RNA, tenía una estructura helicoidal y midieron sus parámetros. Asimismo vieron que el cilindro no era sólido sino que estaba vacío. También estudiaron el poliovirus. Rosalind trabajó con su propio equipo financiado por el Consejo de Investigación en Agricultura [23].

A principios de 1954 Rosalind colaboró con Aaron Klug (1926-) futuro premio nobel de química en 1982 por sus hallazgos en cristalografía electrónica, lo que generó una etapa de éxitos. En 1955 Franklin publicó en *Nature* el primero de sus trabajos sobre el virus del mosaico del tabaco en el que señalaba que todas las partículas tenían la misma longitud. Asignó luego el estudio de este virus al estudiante de doctorado Kenneth Holmes (1934-). Pronto descubrieron que la cobertura del virus eran proteínas dispuestas en forma de hélice [24].

Cuando Rosalind estaba en California escalando una montaña sufrió intensos dolores abdominales. De nuevo en Inglaterra acudió al médico y se le diagnosticó un cáncer. Desde entonces alternó etapas de investigación con estancias en el hospital. Sospechó que no le daría tiempo a finalizar los trabajos que había emprendido. La Royal Society le encargó una muestra para la Exposición Universal de Bruselas de 1958, pero falleció el día 16 de abril de ese mismo año sin darle tiempo a llevar a cabo el encargo [25].

Cuatro años más tarde se otorgó el premio nobel a Wilkins, Watson y Crick “por sus descubrimientos en relación a la estructura molecular de los ácidos nucleicos y su importancia para la transferencia de información en material vivo” [26]. Molestó a muchos que no se hiciera mención de Rosalind Franklin cuyo aporte dotó de base científica al modelo de Watson y Crick.

Se arguyó que no se podía conceder el premio a una persona fallecida y que fue excluida de la terna desde el comienzo. Lo cierto es que nadie se acordó de ella y ni siquiera fue mencionada. Es más, cuando en 1968 Watson publicó su historia personal del descubrimiento de la estructura del ADN que incluye la etapa entre los años 1950 y 1953, tacha a Rosalind de mujer dura, de mal carácter, terca,

incluso agresiva. No reconoce su contribución. El libro fue un éxito de ventas en muchos países y de este modo se transmitió una imagen distorsionada de la científica a pesar de haber incluido un epílogo en el que modifica algo su opinión:

“En 1958, Rosalind Franklin murió a la temprana edad de 37 años. Dado que mis primeras impresiones sobre ella, tanto en lo científico como en lo personal (y que están reflejadas en las páginas iniciales de este libro), estaban con frecuencia equivocadas, deseo decir aquí alguna cosa sobre sus realizaciones. El trabajo de rayos X que llevó a cabo en King’s College está considerado, cada vez, por más personas, como extraordinario. La mera separación de las formas A y B, por si sola, le habría dado una gran reputación; mejor todavía fue su demostración en 1952, utilizando los métodos de superposición de Patterson, de que los grupos de fosfatos tenían que estar en el exterior de la molécula de ADN. Posteriormente, cuando se trasladó al laboratorio de Bernal, se ocupó del virus del mosaico del tabaco y expandió enseguida nuestras ideas cualitativas sobre la construcción helicoidal para convertirlas en una imagen cuantitativa exacta, con lo que estableció de forma definitiva los parámetros helicoidales esenciales y situó la cadena ribonucleica a mitad de camino hacia el exterior del eje central...”[27].

Para los tres ganadores del Nobel Franklin parecía haberse vuelto invisible. Sus trabajos sobre la estructura del ADN fueron menospreciados y silenciados.

En 1975 una amiga de Rosalind, Anne Sayre, publicó el libro *Rosalind Franklin and the DNA* para dar a conocer al público su verdad sobre Rosalind. Otros amigos y colaboradores también escribieron en su favor. De tanto en tanto aparece un nuevo libro que contribuye a la polémica o que reivindica el nombre de Rosalind para la historia de la ciencia.

Se ha hablado también de que era mujer, de su carácter difícil y de que en su tiempo no estaba bien visto que no se tuviera una familia y se dedicara a la ciencia.

En 2002 Brenda Maddox publicó *Rosalind Franklin; The dark lady of DNA* [28]. Asimismo Maurice Wilkins, quizás el principal obstáculo que tuvo Rosalind en King’s College, acabó por escribir en 2003 un libro autoexculpatorio, *The third Man of the Double Helix* [29].

Los cuatro (Franklin, Wilkins, Watson y Crick) merecieron la gloria de un descubrimiento importantísimo en la historia de la ciencia, por un lado, pero también dieron motivos para que se convirtiera su hallazgo en una reflexión ética sobre el trabajo científico.

Bibliografía

–Álvarez, J.P. (2015). Rosalind Franklin y el descubrimiento de la estructura del ADN. *Rev. Med. Clin. Condes*, vol. 26(4): 544-549.

–Berger, D. (2014). A Biography of The Dark Lady Of Notting Hill. United Synagogue Women. Disponible en: <http://www.theus.org.uk/article/biography-dark-lady-notting-hill> . Consultado el 15/1/2017.

–Cavendish Laboratory. Wikipedia. Disponible en: https://en.wikipedia.org/wiki/Cavendish_Laboratory . Consultado el 18/1/2017.

–Crick, F.; Watson, J. (1953). Molecular structure of nucleic acids. *Nature*, vol. 171 (4356): 737-738.

–Crick, F.H.C.; Watson, J.D. (1954). The complementary structure of deoxyribonucleic acid. *Proc. Roy. Soc.*, vol. 223:80-90.

–Elkin, L., O. (2003). Rosalind Franklin and the Double Helix. *Physics Today*, March, pp. 42–48.

–James Watson, Francis Crick, Maurice Wilkins y Rosalind Franklin. Chemical Heritage Foundation. Disponible en: <https://www.chemheritage.org/historical-profile/james-watson-francis-crick-maurice-wilkins-and-rosalind-franklin> . Consultado el 15/1/2017.

–Klug, A. (1968). Rosalind Franklin and the discovery of the structure of DNA, *Nature*, vol. 219: 808–810 y 843.

–Klug, A. (1974). Rosalind Franklin and the double helix. *Nature*, vol. 248: 787.

–Klug, A. (2004). The discovery of the DNA double Hélix. *J. Mol. Biol.*, vol. 335: 3-26.

–Lara, C. (2006). Rosalind Franklin y el descubrimiento de la estructura del DNA. Un estudio de caso sobre la (in)visibilidad de las mujeres en ciencia. En: *El Segundo Escalón. Desequilibrios de Género en Ciencia y Tecnología*. Sevilla: ArCiBel, pp. 133-157.

–Maddox, B. (2002). Rosalind Franklin. The dark Lady of DNA. United Kingdom: HarperCollins Pub.

–Rosalind Franklin. Wikipedia. Diponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Rosalind_Franklin . Consultado el 15/1/2017.

–Rosalind Franklin. The DNA molecule is shaped like a twisted ladder. DNA from the beginning. Disponible en:

<http://www.dnaftb.org/19/bio-3.html> Consultado el 18/1/2016.

–Rosalind Franklin. Chemist (1920-1958). Bio. Disponible en: <http://www.biography.com/people/rosalind-franklin-9301344#synopsis> Consultado el 15/1/2017.

–Rosalind Franklin's Legacy. Nova. Disponible en: <http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/rosalind-franklin-legacy.html> Consultado el 15/1/2017.

–Riera Tuèbols, S. (2015). La dona en la biologia i la medicina. Cinc biografies de dones científiques. Barcelona: Edicions de l'Albí.

–Sayre, A. (1978) [1975]. Rosalind Franklin and DNA. New York: Norton Library.

–The Nobel Prize in Physiology or Medicine, 1962. Disponible en: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/ . Consultado el 18/1/2017.

–The Rosalind Franklin Papers. The DNA Riddle: King's College, London, 1951-1953. US National Library of Medicine. Disponible en: <https://profiles.nlm.nih.gov/ps/retrieve/Narrative/KR/p-nid/187> . Consultado el 18/1/2017.

–Watson, J.D.; Crick, F.H.C. (1953). A structure for desoxyribose nucleic acid. Nature, vol. 171: 737.

–Watson, J.D. (2000). La doble hélice. Madrid: Alianza, p.195.

–Watson, J.D.; Crick, F.H. (1953). Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid. Nature, vol. 171(4361): 964-967.

–Wilkins, M.H.F.; Stokes, A.R.; Wilson H.R. (1953). Molecular structure of Deoxyribose Nucleic Acids. Nature 171: 738-740.

–Wilkins, Maurice (2005). The Third Man of the Double Helix : the autobiography of Maurice Wilkins. Oxford: Oxford University Press.

Notas

[1] Álvarez, J.P. (2015), p. 544

[2] Riera Tuèbols, S (2015), p. 69-70; Rosalind Franklin. Wikipedia...; Rosalind Franklin. The DNA molecule is shaped like a twisted ladder...

[3] Berger, D. (2014).

[4] Riera Tuèbols, S. (2015), pp. 73-75; Cavendish

- Laboratory. Wikipedia.
- [5] Rosalind Franklin. Wikipedia.
- [6] Rosalind Franklin. Wikipedia.
- [7] Rosalind Franklin. Wikipedia...; Rosalind Franklin. The DNA molecule is shaped like a twisted ladder...
- [8] Riera Tuèbols, S. (2015), pp. 81-84; The Rosalind Franklin Papers. The DNA Riddle: King's College, London, 1951-1953...
- [9] Klug, A. (2004), p. 7.
- [10] Klug, A. (2004), pp. 8-12.
- [11] Klug, A. (2004), p. 17.
- [12] Las fibras de ADN ya habían sido sometidas a al análisis de difracción de rayos X. En 1938 Astbury observó por vez primera que las muestras de ADN fibroso exhibían reflexiones que correspondían a un espaciado regular a lo largo del eje de la fibra. El significado de esta observación no estaba claro ya que sabían que el ADN utilizado no era puro.
- [13] Se considera que la forma B es la forma biológicamente importante.
- [14] The Rosalind Franklin Papers. The DNA Riddle: King's College, London, 1951-1953.
- [15] En la imagen, las reflexiones que se cruzan en el medio indican una estructura helicoidal; se denomina frecuentemente "cruz helicoidal". Las regiones oscuras arriba y abajo se deben a las bases estrechamente apiladas en sentido perpendicular al eje de la fibra.
- [16] Klug, A. (2004), pp. 21-22.
- [17] Klug, A. (1968). Véase también Klug, A (1974).
- [18] Rosalind Franklin. Wikipedia.
- [19] Watson, J.D.; Crick, F.H.C. (1953).
- [20] Lara, C. (2006).
- [21] Watson, J.D.; Crick, F.H. (1953).
- [22] Crick, F.H.C.; Watson, J.D. (1954).
- [23] Rosalind Franklin. Wikipedia; Lara, C. (2006).
- [24] Rosalind Franklin. Wikipedia; Álvarez, J.P. (2015).
- [25] Debido a bronconeumonía asociada a una carcinomatosis por cáncer de ovario. Muchos lo relacionan con las altas exposiciones a rayos x a las que estuvo expuesta durante sus investigaciones.
- [26] The Nobel Prize in Physiology or Medicine, 1962.
- [27] Watson, J.D. (2000), p.195.
- [28] Maddox, B. (2002).
- [29] Wilkins, M. (2005) [2003].