



Continguts: [www.acclc.cat/ivv\\_docs.php?any=2015](http://www.acclc.cat/ivv_docs.php?any=2015)

*In vitro veritas*

Pàgina web de la revista: [www.acclc.cat/ivv.php](http://www.acclc.cat/ivv.php)



## Història

# Què és la vida, segons Erwin Schrödinger

Joan Nicolau Costa

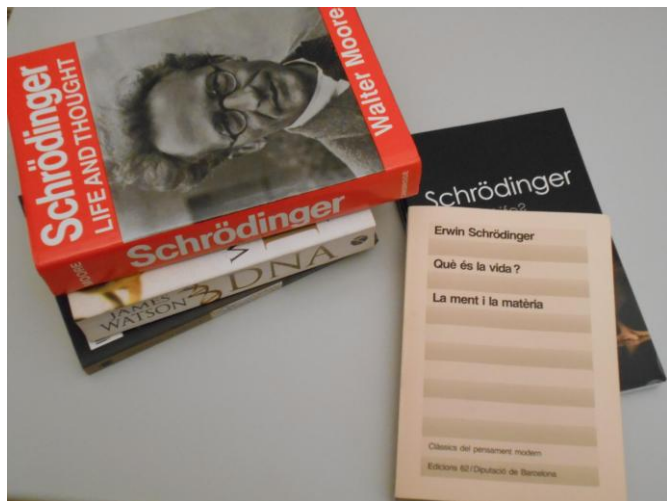
Departament d'Obstetrícia, Ginecologia i Reproducció, Institut Universitari Dexeus, Barcelona

2015 © Publicat per l'Associació catalana de ciències de Laboratori Clínic

### Introducció

*Què és la vida?* recull les conferències impartides el 1943 per Erwin Schrödinger, vienès, guardonat amb el Premi Nobel de Física una dècada abans, mentre fa estada a Dublín fugint de l'Europa sotmesa al nazisme.

Aquest article tracta de la gènesi i les repercussions d'aquest llibre, breu però influent, en el context de la biologia molecular. La seva traducció a la llengua catalana es publica el 1984 (1), inclosa en una col·lecció de clàssics del pensament modern (Figura 1).



**Figura 1.** Què és la vida? d'Erwin Schrödinger.

### La contribució de l'àmbit de la física als inicis de la biologia molecular

En la biologia molecular col·laboren experts en les diverses àrees del coneixement. Així és com Francis Jacob, metge i genetista, resumeix el caràcter multidisciplinari dels inicis de la biologia molecular: «La bioquímica i la física, la genètica i la

fisiologia es fonen llavors en una sola disciplina. És a dir, la biologia molecular deixa de ser l'ocupació de científics aïllats, cadascun d'ells ocupat en un problema particular i un organisme concret. S'imposa un esforç conjunt, humà i tècnic. [...] la biologia arriba a associar-se estretament a la física i la química» (2).

Tres físics eminents estan relacionats amb el naixement de la biologia molecular: Niels Bohr, Max Delbrück i Erwin Schrödinger.

Tal com s'explica a continuació, Niels Bohr és el causant de la dedicació a la biologia de Max Delbrück, i Erwin Schrödinger esdevé un dels difusors de les idees d'aquest últim (3, 4).

#### Niels Bohr

El seu pare és professor de fisiologia a la Universitat de Copenhaguen. De jove, Niels Bohr col·labora sovint en el laboratori de la universitat i participa en els debats que tenen lloc a la casa familiar (5).

El 1932 dona la conferència inaugural al Congrés Internacional de Fototeràpia que titula «La llum i la vida», on exposa la seva visió de la biologia des de la física (6). A banda de publicar-se en les actes del congrés, el text també es difon per mitjà de la revista *Nature* (7).

La conferència no té cap impacte immediat en els biòlegs del moment, però sí una conseqüència a més llarg termini. Entre els assistents hi ha un físic jove, Max Delbrück, que decideix replantejar-se la seva activitat investigadora (8).

#### Max Delbrück

Max Delbrück treballa, a l'època, a l'Institut de Química Kaiser Guillem de Berlín. Funda un grup de discussió on participen el genetista rus Nikolai Timoféeff-Ressovsky, expert en *Drosophila melanogaster*, i el físic Karl Zimmer, expert en radiacions ionitzants. El 1935 publiquen un article influent, de més de cinquanta pàgines: «La naturalesa de les mutacions

<http://www.acclc.cat/continguts/ivv177.pdf>

2015 © ACCLC. Tots els drets reservats.

genètiques i l'estructura dels gens», en la revista de la Societat Científica de Göttingen (9, 10).

L'article analitza la freqüència de les mutacions en funció de la dosi de raigs X i de la temperatura (11). Max Delbrück descriu el model teòric de l'estructura del gen, suggerint que és una entitat polimèrica (12). Com ell mateix recorda: «Els gens, en aquell temps, eren considerats unitats algebraïques en la ciència combinatòria de la genètica [...]» (13).

L'article apareix en una revista que pocs científics llegeixen, però les seves còpies circulen profusament. Es coneix com l'*article dels tres autors*, per emfatitzar el seu caràcter interdisciplinari, o també l'*opuscle verd*, a causa del color de les cobertes de les seves còpies. És recordat, a l'actualitat, no tant pel contingut, sinó per la seva influència en Erwin Schrödinger, i, a través d'ell, en una generació de científics més joves. La publicació del llibre *Creating a physical biology: the three-man paper and early molecular biology* (14) commemora aquest article, amb assaigs sobre els seus orígens històrics, les perspectives filosòfiques i, per primera vegada, la traducció a l'anglès de l'original en llengua alemanya.

Dos anys més tard, Max Delbrück deixa Alemanya per anar a l'Institut de Tecnologia de Califòrnia (Caltech) on aprèn els avantatges de la utilització dels bacteriòfags, avantatges que són conseqüència de la seva simplicitat i rapidesa reproductiva (15). El Premi Nobel li arribarà «per les seves descobertes relatives al mecanisme de la replicació i l'estructura genètica dels virus» (16).

### Erwin Schrödinger

D'acord amb el retrat que fa la seva filla, la personalitat d'Erwin Schrödinger ve marcada per la Viena del tombant del segle dinou al vint (17). Es refereix al sistema educatiu, amb l'accent en les humanitats, i a un ambient intel·lectual estimulant. Diu: «El meu pare fugia de l'especialització i s'esforçava per ser un generalista en tots els sentits. I així era tota la seva generació».

L'interès d'Erwin Schrödinger per la biologia es remunta a la infància. Llegeix aviat l'*Origen de les espècies* de Charles Darwin, que comenta amb el seu pare, afeccionat a la botànica. «Per descomptat, em vaig convertir en un ardent seguidor del darwinisme, i, encara ho sóc» (18).

A la Universitat de Viena estudia física, però llegeix també els biòlegs clàssics (19). El seu amic més proper és Franz Frimmel, un estudiant de botànica amb qui té llargues converses: «[...] l'únic amic de debò que he tingut [...] moltes nits fèiem llargues passejades [...] immersos en discussions filosòfiques» (18). Els quaderns d'Erwin Schrödinger d'aquesta època mostren un ampli interès en temes no relacionats directament amb la física, com la filosofia índia o europea (20).

Al final de la seva estada a la Universitat de Zuric, a la Càtedra de Física Teòrica, publica els sis articles que constitueixen el fonament de la mecànica ondulatoria (21). El 1933 rep el Premi Nobel de Física, juntament amb Paul Dirac, «pel descobriment de noves formes productives de la teoria atòmica» (22).

### Erwin Schrödinger a Dublín

El 1940 el govern de la república irlandesa funda l'Institut d'Estudis Avançats de Dublín, i el primer ministre, Éamonn de Valera, li ofereix la direcció de l'Escola de Física Teòrica (23). Encara que l'ambient irlandès tendeix al puritanisme, a la pràctica respecta el tipus de vida familiar poc convencional d'Erwin Schrödinger (21, 24), el qual roman a Irlanda fins que pot retornar a Àustria el 1956.

Entre les seves obligacions hi ha la d'impartir una sèrie de conferències públiques. Paul Peter Ewald, físic alemany, també refugiat, que està ensenyant a la Universitat de Belfast, li mostra l'article «La naturalesa de les mutacions genètiques i l'estructura dels gens» de Max Delbrück. Aquest article, juntament amb els llibres de genètica (20), esdevé la base de la sèrie de tres conferències que imparteix al Trinity College de Dublín, el febrer del 1943, amb el títol *Què és la vida?*

Hi assisteixen polítics, diplomàtics i un gran nombre de personalitats de l'art i l'estament eclesiàstic. Cal repetir les conferències en altres dies, a causa de la gran assistència de públic. A la premsa, l'*Irish Times* (20), i la revista *Time* es fan ressò de l'esdeveniment (25, 26).

### Les idees principals de *Què és la vida?*

Entre les idees tractades hi ha la discussió de la naturalesa de la vida a partir de la segona llei de la termodinàmica. Aquesta llei estableix que l'univers tendeix cap al desordre, la màxima entropia (27). O sigui, amb el pas del temps, l'entropia de qualsevol sistema aïllat va augmentant. Els organismes retarden aquest procés temporalment, mitjançant processos metabòlics, absorbint de l'entorn el que necessiten (28). D'acord amb l'expressió emprada en el text, els organismes han de «beure ordre» del seu medi ambient.

L'autor introdueix la metàfora del *codi hereditari* en els cromosomes: «Són aquests cromosomes, o probablement només una fibra axial en els cromosomes que veiem al microscopi, els que contenen, en forma de codi xifrat, la configuració completa del desenvolupament de l'individu i de les seves funcions en l'estat madur».

L'analogia amb l'alfabet Morse es fa evident en relació a la informació codificada: «A tall d'il·lustració, penseu en l'alfabet Morse. Els dos signes diferents, el punt i la ratlla, en grups ben ordenats, de no més de quatre, admeten trenta combinacions diferents».

Un altre tema desenvolupat és la naturalesa del material genètic, que l'autor equipara a un *crystal·lini aperiòdic*. Argumenta que el material genètic ha de tenir l'estabilitat d'un cristall, però ha de ser portador d'informació, és a dir, no ha de tenir la uniformitat del cristall ordinari. «La diferència d'estructura [entre un cristall i l'altre] és similar a la que hi ha entre un paper corrent d'empaperar, on el mateix motiu apareix una i altra vegada, i una obra mestra del brodat, com ara un tapís de Rafael, que no exhibeix una repetició monòtona, sinó un disseny elaborat, coherent i expressiu, traçat pel gran mestre».

Les referències al treball de Max Delbrück són explícites i freqüents. Per exemple, «[...] seguim a M. Delbrück, en un article de Delbrück, N. W. Timoféeff i K. G. Zimmer, que és també la font principal de la teoria que s'exposa en els dos capítols següents». El cinquè capítol es titula «Discussió i verificació del model Delbrück».

### La publicació de *Què és la vida?*

En preparar la versió impresa de les conferències, Erwin Schrödinger afegeix un epíleg titulat «Determinisme i lliure albir», on desenvolupa les seves conclusions filosòfiques. L'autor cita textos indis, els Upanishads, i el filòsof Arthur Schopenhauer. Afirmar que la pluralitat de la consciència dels individus és il·lusòria i identifica la consciència individual amb una consciència universal única. La consciència, per tant, és un *singulare tantum*, un terme que designa allò no s'usa en forma plural.

A causa d'aquest fet, l'editorial dublinesa, alertada per l'autoritat eclesiàstica, es nega a la impressió del text complet i es

destrueixen les planxes metàl·liques (25, 21). En conseqüència, la Cambridge University Press es fa càrrec de la publicació, la qual cosa, juntament amb la popularitat de l'autor, afavoreix la difusió del text.

El llibre es publica el 1944. Se'n fan ressenyes, amb opinions diverses, a les publicacions científiques com *Nature* (29), *Journal of Heredity* (30), *The Quarterly Review of Biology* (31) o *British Medical Journal* (32). Les ressenyes també apareixen a publicacions filosòfiques i religioses (20, 33). A l'*Encyclopaedia Britannica* del 1948, el llibre consta a la bibliografia de l'article sobre el *protoplasma*. Segueixen traduccions a diversos idiomes i una segona edició el 1948.

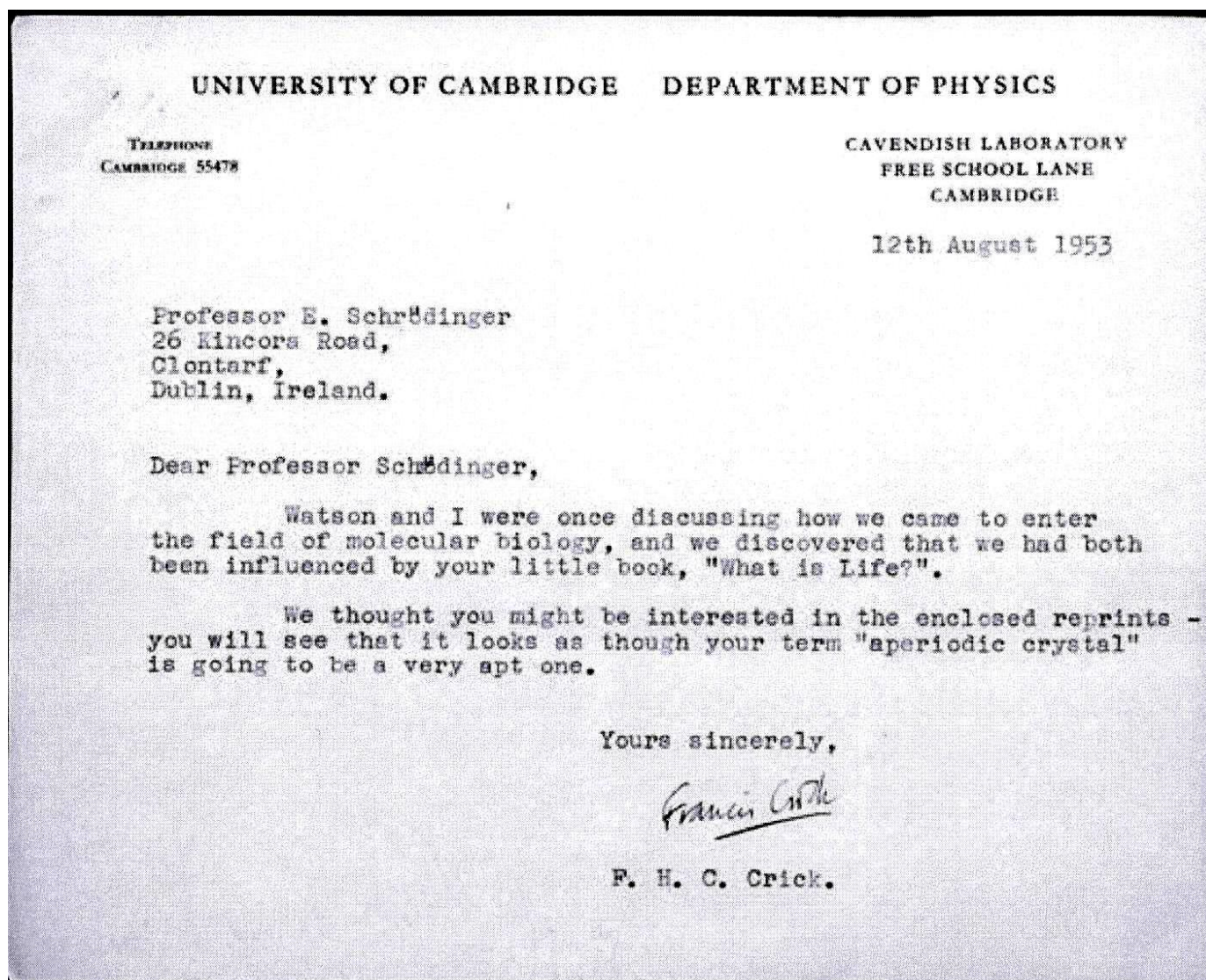
Tot just acabada la segona guerra mundial, té lloc una trobada per abordar els "Problemes a la frontera entre la física i la biologia", a Washington, amb els auspicis de l'Acadèmia Nacional de Ciències. Max Delbrück obre la discussió afirmant que el llibre d'Erwin Schrödinger és l'estímul que els ha portat a reunir-se (25).

### Una carta i algunes declaracions

A continuació, a títol d'exemple, es recullen algunes declaracions de tres científics rellevants sobre la influència de *Què és la vida?* en les seves vides professionals.

L'abril del 1953, James Watson i Francis Crick publiquen a *Nature* el famós article, d'una pàgina i escaig, on descriuen l'estructura del DNA (34). Un segon article segueix, poc després, on es pot llegir que «[...] sembla probable que la seqüència detallada de les bases és el codi que porta la informació genètica» (35). L'agost següent, Francis Crick escriu una carta<sup>1</sup> a Erwin Schrödinger on li agraeix la inspiració aportada pel llibre (Figura 2). Diu així:

«Un cop comentàvem amb Watson què ens havia portat a dedicar-nos a la biologia molecular, i vam descobrir que a tots dos ens havia influenciat el seu petit llibre *Què és la vida?*. Creiem que li podrien interessar les còpies adjuntes. Sembla que el seu terme "cristall aperiòdic" hagi de ser molt oportú».



**Figura 2.** La carta de Francis Crick a Erwin Schrödinger, dipositada a la biblioteca de l'Escola de Física Teòrica de l'Institut d'Estudis Avançats de Dublín.

<sup>1</sup> L'autor d'aquest article agraeix a George Rogers, bibliotecari de l'Escola de Física Teòrica de l'Institut d'Estudis Avançats de Dublín, l'enviament de la còpia de la carta de Francis Crick a Erwin Schrödinger que apareix en la figura 1 i la seva amabilitat en autoritzar la seva publicació en aquest article.

El 1962, quasi dues dècades després de les conferències de Dublín, Francis Crick, James Watson i Maurice Wilkins reben conjuntament el Premi Nobel de Fisiologia o Medicina «per les seves descobertes relacionades amb l'estructura molecular dels àcids nucleics i la seva importància per a la transmissió de la informació en els sers vius» (36).

En la conferència en ocasió de l'entrega del Premi Nobel, Maurice Wilkins, físic especialista en la cristal·lografia de raigs X, recorda la seva contribució al desenvolupament de les armes nuclears i el paper de *Què és la vida?* en la seva reorientació professional (37): «Durant la guerra vaig contribuir al desenvolupament de la bomba atòmica. Quan la guerra va acabar, com tants altres, vaig buscar un nou camp de recerca. En part a causa de la bomba, havia perdut tot l'interès en la física. Per contra, em va interessar molt la lectura del llibre *Què és la vida?* de Schrödinger, i em va colpir la idea d'una estructura molt complexa que controla els processos dels sers vius. [...] En aquell moment, molts físics eminents [...] creien que la física contribuiria de forma significativa a la biologia; el seu parer em va encoratjar a dedicar-me a la biologia».

James Watson llegeix *Què és la vida?* quan està estudiant a la Universitat de Chicago. Afirmar: «Fins llavors jo havia planejat ser un naturalista [...]. El canvi me'l va inspirar, no un professor inoblidable, sinó un petit llibre que va a aparèixer el 1944, *Què és la vida?* [...]» (38).

Francis Crick explica: «[...] malgrat totes les coses que es puguin dir sobre el llibre de Schrödinger, cal reconèixer que va tenir una influència cabdal en els científics joves que planejaven dedicar-se a la biologia. L'ha va tenir certament en mi, i sé que també va influenciar Jim Watson i Seymour Benzer» (39). Puntualitzat: «Va ser més tard que vaig veure les seves limitacions, [...] però el llibre permetia entreveure que, certament, estaven a punt de començar coses molt importants» (40)..

## Conclusió

Erwin Schrödinger retorna a Viena, la seva ciutat natal, a poc més d'una dècada del fi de la segona guerra mundial. Ensenya a la Universitat d'aquesta ciutat, on és nomenat professor emèrit.

La seva salut, afeblida, li impedeix impartir el cicle de les «Conferències Turner» al Trinity College de Cambridge. Les ponències han de ser llegides en nom seu i es publiquen amb el títol de *La ment i la matèria*. S'inclouen en l'edició anglesa del 1967 de *Què és la vida?*, en la qual es basa la publicació en llengua catalana.

Acaba la segona part d'un assaig de caire filosòfic començat trenta-cinc anys abans. No és un tractat amb arguments feixucs, sinó, complint un desig llargament posposat, l'exposició de les idees que l'han acompanyat al llarg dels anys. Ambdues parts es publiquen, conjuntament, en el que és el seu últim llibre, *La meua visió del món* (41).

## Bibliografia

- (1) Schrödinger E. Què és la vida? L'aspecte físic de cèl·lula viva; i la ment i la matèria. [Traduït per Roig N]. Barcelona: Edicions 62; 1984. [ISBN 84-297-2198-3] (B-32-252-1984).
- (2) Jacob F. La logique du vivant. Une histoire de l'héritité. Paris: Editions Gallimard; 1970.
- (3) Domondon AT. Bringing physics to bear on the phenomenon of life: the divergent positions of Bohr, Delbrück and Schrödinger. *Stud Hist Philos Biol Biomed Sci* 2006;37:433-58.
- (4) Wilkins M. The third man of the double helix. Oxford: Oxford University Press; 2003. [ISBN 0-19-860665-6].
- (5) Kay LE. Conceptual models and analytical tools: the biology of physicist Max Delbrück. *J Hist Biol* 1985;18:207-46.
- (6) Stent GS. Light and life: Niel's Bohr's legacy to contemporary biology. *Genome* 1989;31:11-5.
- (7) Bohr N. Light and life. *Nature* 1933;131:421-3 i 457-9.
- (8) Olby R. The path to the double helix. The discovery of DNA. Nova York: Dover Publications, Inc; 1994. [ISBN 0-486-68117-3].
- (9) Timoféeff-Ressovsky NW, Zimmer KG, Delbrück M. Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur. *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen* 1935;1:189-245.
- (10) <<https://www.ini.uzh.ch/~tobi/fun/max/timofeeffZimmerDelbruck1935.pdf>>. (Accés: 2014\_09\_01).
- (11) Hoffmann PM. Life's ratchet: how molecular machines extract order from chaos. Nova York: BasicBooks. Perseus Books Group; 2012. [ISBN 978-0-465-03336-2].
- (12) Perutz MF. Erwin Schrödinger's What is life? and molecular biology. A: Kilmister C W, dir. Schrödinger, centenary celebration of a polymath. Cambridge: Cambridge University Press; 1987. [ISBN 978-0-521-34017-5].
- (13) Citat a Olby R. The path to the double helix. The discovery of DNA. Nova York: Dover Publications, Inc; 1994. [ISBN 0-486-68117-3].
- (14) Sloan PR, Fogel B, dirs. Creating a physical biology: the three-man paper and early molecular biology. Chicago: University Of Chicago Press; 2011. [ISBN 0-226-76783-3].
- (15) Kay LE. The molecular vision of life. Oxford: Oxford University Press; 1993. [ISBN 0-19-505812-7].
- (16) <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1969/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1969/)>. (Accés: 2014\_09\_01).
- (17) Braunizer R. Reminiscences. A: Murphy MP, O'Neill L A, dirs. What is life. The next fifty years. Cambridge: Cambridge University Press; 1997. [ISBN 0-521-59939-3].
- (18) Schrödinger E. What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell; with Mind and matter; and Autobiographical sketches. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. [ISBN 978-1-107-60466-7].
- (19) Welch GR. Schrödinger's What is life?: a 50-year reflection. *Trends Biochem Sci* 1995;20:45-8.
- (20) Yoxen EJ. Where does Schrödinger's 'What is life?' belong to the history of molecular biology? *Hist Sci* 1979;17:17-52.
- (21) Gribbin J. Erwin Schrödinger and the quantum revolution. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc; 2013. [ISBN 978-1-118-33411-9].
- (22) <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1933/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1933/)>. (Accés: 2014\_09\_01).
- (23) McCrea W. Eamon de Valera, Erwin Schrödinger and the Dublin Institute. A: Kilmister CW, dir. Schrödinger, centenary celebration of a polymath. Cambridge: Cambridge University Press; 1987. [ISBN 978-0-521-34017-5].
- (24) Segrè G. Ordinary geniuses: Max Delbrück, George Gamow, and the origins of genomics and big bang cosmology. Londres: Penguin Books Ltd; 2011. [ISBN 978-1-101-51773-4].
- (25) Moore W. Schrödinger, life and thought. Cambridge: Cambridge University Press; 1989. [ISBN 0-521-35434-X].
- (26) <<http://content.time.com/time/magazine/0,9263,7601430405,00,ht>>. (Accés: 2014\_09\_03).
- (27) Olby R. Schrödinger's problem. what is life? *J Hist Biol* 1971;4:119-48.
- (28) Dennett DC. Atheism and evolution. A: Martin M, dir. The Cambridge companion to atheism. Cambridge: Cambridge University Press; 2007. [ISBN 0-521-60367-6].

- (29) Haldane JBS. A physicist looks at genetics. *Nature* 1945;155:375-6.
- (30) Muller HJ. A physicist stands amazed at genetics: a review. *J Hered* 1946;37:90-2.
- (31) Delbrück M. What is life? and what is truth? *Q Rev Biol* 1945;20:370-2.
- (32) Anònim. The living cell. *Brit Med J* 1945;1:188.
- (33) Dronamraju KR. Erwin Schrödinger and the origins of molecular biology. *Genetics* 1999;153:1071-6.
- (34) Watson JD, Crick FHC. Molecular structure of nucleic acids. A structure for desoxyribose nucleic acid. *Nature* 1953;171:737-8.
- (35) Watson JD, Crick FHC. Genetical implications of the structure of deoxyribonucleic acid. *Nature* 1953;171:964-7.
- (36) <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1962/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/)>. (Accés: 2014\_08\_21).
- (37) <[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1962/wilkins-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/wilkins-lecture.html)>. (Accés: 2014\_08\_21).
- (38) Watson J. *DNA The secret of life*. Londres: Arrow Books. The Random House Group Ltd; 2004. [ISBN 0-434-01116-9].
- (39) Carta citada a Olby R. Schrödinger's problem, what is life? *J Hist Biol* 1971;4:119-48.
- (40) Crick F. *What mad pursuit*. Nova York: BasicBooks. Perseus Books Group; 1988. [ISBN 0-465-09138-5].
- (41) Schrödinger E. *My view of the world*. Londres: Cambridge University Press; 1964.