

Continguts: <http://www.acclc.cat/volumen/vol-18/>*In vitro veritas*Pàgina web de la revista: www.acclc.cat/ivv.php

Ressenya

Sobre l'atzar i la necessitat

Joan Nicolau Costa

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

2017 © Publicat per l'Associació catalana de ciències de Laboratori Clínic

Introducció

El Premi Nobel en Fisiologia o Medicina s'atorga, l'any 1965, a Jacques Monod, François Jacob i André Lwoff, conjuntament, «pels seus descobriments en relació a la regulació genètica de la síntesi d'enzims i de virus» (1, 2) (Figura 1). Es reconeix així la seva contribució, realitzada a l'Institut Pasteur de Paris, al desenvolupament de la biologia molecular. Han aportat la distinció entre gens estructurals, que codifiquen proteïnes, i gens reguladors, que controlen l'activitat d'altres gens, i també conceptes com *l'al·lostèria* i *l'operó*.



Figura 1. Els tres guardonats amb el Premi Nobel en Fisiologia o Medicina a la portada del diari *La Vanguardia*.

Aquest article tracta sobre *Le hasard et la nécessité*, publicat el 1970 per un dels guardonats, Jacques Monod (3). A continuació es fa un apunt biogràfic de l'autor que a més de ser un investigador, és un intel·lectual compromès amb la societat (4, 5).

Esbós biogràfic de Jacques Monod

L'interès de Jacques Monod (1910-1976) per trobar explicacions naturals als fenòmens biològics l'empeny a dedicar-se a la ciència: «[...] els éssers vius haurien ser explicats en termes que no contradueixen o anul·len les lleis de la física, perquè si no, la interpretació de tot l'univers hauria de ser diferent. Penso que vaig ser conscient d'això molt aviat, als setze o disset anys. I vaig decidir-me per la biologia per aquest motiu» (6).

Sense deixar la seva recerca a l'Institut Pasteur, col·labora amb la resistència contra l'ocupació nazi, per la qual cosa rep diverses condecoracions un cop acabada la Segona Guerra Mundial (7, 8). Seguidament entra en franca oposició amb el Partit Comunista, del qual és membre, com a resultat de la controvèrsia sorgida arran de l'afer Trofim Lysenko. Aquest agrònom soviètic, recolzat per Stalin, impedeix al seu país la recerca en la genètica clàssica mendeliana, acusant-la de burgesa, i promou un model lamarckià basat en l'herència dels caràcters adquirits. Una de les conseqüències és la persecució dels científics dedicats a la recerca en genètica. Davant la polèmica aixecada entre els intel·lectuals occidentals, el diari francès *Combat*, sol·licita l'opinió de tres biòlegs de prestigi. El títol de l'article de Jacques Monod és «La victòria de Lysenko no té res de científic» (7, 9). Escriu també, més endavant, el pròleg de la traducció francesa de *Grandeur et chute de Lyssenko* de Jaurès Medvedev, un dels testimonis i víctima d'aquest període (10).

Intervé activament en els fets del maig del 1968 a França. Pocs anys després, en una entrevista, afirma: «[Vaig ser] contestatari de part doble. El seixanta-vuit vaig criticar la universitat, com des del principi i molt obertament. Però també vaig criticar els revoltats» (11). Participa en la promoció del control de la natalitat, encara penalitzat a l'època, i es manifesta a favor de la despenalització de l'avortament i en contra la pena de mort (6). S'adhereix, juntament amb una cinquantena de personalitats d'àmbit mundial, al manifest «Una súplica per a una eutanàsia benefactora», on s'argumenta: «Atès que tot individu té el dret a viure amb dignitat —encara que aquest dret sigui molt

sovint contradit pels fets— també té el dret a morir amb dignitat» (7).

Albert Camus

Aquest apartat es dedica a Albert Camus que Jacques Monod coneix arran del debat pel cas Lysenko (6, 12). De l'encontre en resulta una profunda amistat basada en idees afins. Jacques Monod en fa referència sovint a les seves entrevistes (13, 11) i comença *Le hasard et la nécessité* amb una citació d'Albert Camus, tal com s'explica més endavant. El científic també l'esmenta a la conferència titulada «La ciència i els seus valors», del catorzè Simpòsium Nobel dedicat a «El lloc dels valors en un món de fets» (14). Els raonaments d'ambdós pensadors tenen força similituds malgrat que Albert Camus és conseqüent amb una tradició filosòfica i literària mentre que Jacques Monod es basa en la seva reflexió com a científic.

Albert Camus (1913-1960), neix a Algèria, fill d'emigrants d'ascendència francesa i menorquina, i es trasllada de jove a la metròpolis francesa (15). Esdevé membre de la resistència contra la invasió nazi i té diverses responsabilitats al diari clandestí *Combat*. És periodista, novel·lista, assagista i autor teatral, i, malgrat no definir-se a si mateix com filòsof, afirma que «Una novel·la no és altra cosa que una filosofia expressada en imatges» (16). Li és atorgat el Premi Nobel de Literatura l'any 1957 a l'edat de quaranta-quatre anys. Albert Camus mor prematurament pocs anys després, en un accident de cotxe juntament amb el seu editor.

En el seu discurs a Estocolm assenyala que és part d'una generació que ha viscut una «història demencial», una generació d'homes «nascuts a l'inici de la Primera Guerra Mundial, que tenien vint anys quan Hitler arribava al poder i, a la vegada, començaven els primers judicis soviètics, i que, per completar la seva formació, van ser testimonis de la Guerra Civil Espanyola, la Segona Guerra Mundial, els camps de concentració, l'Europa de la tortura i les presons [...]» (17).

La visió del món d'Albert Camus neix del sentiment de l'absurd. A *Le mythe de Sisyphe* afirma: «En aquest punt del seu esforç, l'home es troba davant l'irracional. Sent en ell mateix el seu anhel de felicitat i de raó. L'absurd neix d'aquesta confrontació entre l'exigència humana i el silenci irraonable del món» (18). L'absurd és el resultat, per tant, del «divorci entre l'esperit que desitja i el món que decep, la meua nostàlgia d'unitat, aquest univers fragmentat i la contradicció que els encadena» (18).

Raona, però, que la noció de l'absurd ha de portar a l'acció: «El reconeixement que la vida és absurda no pot ser un final, sinó tan sols un començament. [...] No és aquesta descoberta la què és interessant, sinó les conseqüències i els criteris per a l'acció que se'n poden derivar» (16). Albert Camus està compromès en la lluita contra les ideologies polítiques o les creences que prometen la salvació en el futur a costa del sacrifici de l'ésser humà en el present. «Tot el que puc aspirar, en relació al meu treball creatiu, és mostrar que les formes generoses de conducta poden ser engendrades fins i tot en un món sense Déu, i que l'home, sol en l'univers, pot crear encara els seus valors. [...] Perquè no acceptar que un ésser que és pessimista sobre la condició humana pot, malgrat tot, sentir solidaritat amb els seus companys de servitud, i trobar-hi una raó per actuar?» (19).

Le hasard et la nécessité

Jacques Monod i François Jacob publiquen el mateix any els seus llibres, amb la intenció d'explicar a l'audiència general els avenços dels anys precedents en relació a la naturalesa dels gens i els seus mecanismes d'acció. *La logique du vivant*, de François Jacob, fa un gran relat històric dels descobriments relacionats

amb l'herència (20). A *Le hasard et la nécessité* (Figura 2), Jacques Monod, busca extreure'n les implicacions filosòfiques.



Figura 2. L'edició del 1970 de *Le hasard et la nécessité*.

Ambdós autors subscriuen el punt de vista darwinian de l'evolució, completat per la genètica mendeliana en l'anomenada síntesi moderna, sorgida la primera meitat del segle vint. La biologia molecular hi aporta la base material dels mecanismes hereditaris.

André Lwoff explica que la recerca sobre el control dels mecanismes reguladors condueix als guardonats amb el Premi Nobel a la comprensió del procés evolutiu dels éssers vius: «[...] els sistemes reguladors eficients aporten avantatges selectius. [...] La regulació es realitza mitjançant molècules petites, i una condició per la seva acció és l'existència d'un lloc receptor en la proteïna, sigui aquesta un enzim o un repressor. Les propietats de la proteïna —enzim o repressor— són controlades per l'estructura terciària i quaternària, que al seu torn, és controlada per l'estructura primària. Atès que l'estructura primària ve determinada la informació genètica, es dedueix que l'evolució dels sistemes reguladors és la conseqüència de les mutacions, necessàriament aleatòries, del material genètic: gen regulador, operador i gen estructural. El problema de la regulació va portar al problema de l'evolució» (4).

En la conferència titulada «Sobre la teoria molecular de l'evolució», en el marc de les Conferències Herbert Spencer, Jacques Monod afirma que «l'avenç de la genètica molecular, de la biologia molecular, ha enriquit enormement, i ha fet explícit en gran manera allò que estava implícit en la teoria de l'evolució» (21). Aquest és el context de *Le hasard et la nécessité*.

La difusió del llibre

Malgrat que alguns capítols porten títols com «Els dimonis de Maxwell», «La cibernètica microscòpica» o «L'ontogènesi molecular», i tenir apèndixs tractant l'estructura de les proteïnes, els àcids nucleics o la segona llei de la termodinàmica, el llibre esdevé molt popular.

Le Monde publica, en l'article de l'agost del 1971, que és un dels llibres amb més èxit de vendes (22). Durant quasi un any, està a la llista dels més venuts a França, per darrere de la novel·la romàntica *Love Story* d'Eric Segal (23). També és un dels més venuts a Alemanya i el Japó (24), i es publiquen ressenyes al

New York Times (25) i al *London Times Literary Supplement* (22), encara que el seu èxit és menor en el món anglosaxó, possiblement a causa del rerefons cultural diferent (26).

A la introducció de la reedició anglesa del 1997, John Maynard Smith afirma: «En tornar a llegir a Monod, he comprovat que en el seu llibre hi ha el germen de moltes de les nostres idees [a *The Major Transitions in Evolution*, amb Eörs Szathmáry]. Ho esmento per remarcar que *Le hasard et la nécessité* no té tan sols un interès històric. És una font d'idees a propòsit de la naturalesa de la vida que mantenen la seva vigència» (27).

En els següents apartats s'exposen algunes de les idees de *Le hasard et la nécessité*. També es fa referència a altres textos de l'autor, que formen tots ells un conjunt coherent. Així, el llibre sorgeix d'una sèrie de conferències, les Conferències Robbins, impartides el 1969 a Califòrnia, al Pomona College. Però els arguments poden remuntar-se, per exemple, a la Lliçó Inaugural impartida dos anys abans al prestigiós Collège de France (28). En les citacions reproduïdes a continuació, es manté la lletra cursiva i les cometes volades tal com apareixen en els textos originals, a fi de reflectir l'estil de l'autor.

Les diferents manifestacions de l'atzar

L'autor assenyala que els canvis que es produeixen en el DNA tenen conseqüències imprevisibles en les proteïnes que aquest codifica. Aquest tipus d'atzar és el resultat de dues sèries causals independents: «Així, entre els esdeveniments que poden provocar o permetre un error en la replicació del missatge genètic i les seves conseqüències funcionals hi ha [...] una independència total. La conseqüència funcional depèn de l'estructura i de l'acció de la proteïna modificada així com de les interaccions que sosté i de les reaccions que catalitza. Tots aquests efectes no tenen res a veure amb l'esdeveniment mutacional mateix, amb les seves causes immediates o remotes, ni tampoc amb la naturalesa, determinista o no, d'aquestes "causes"» (3). Els esdeveniments provocats són coincidències absolutes.

Però també hi ha la intervenció de l'atzar en els canvis que són conseqüència de l'estructura física de la matèria: «En darrer terme, existeix, a escala microscòpica, una altra font d'incertesa més radical encara, arrelada en l'estructura quàntica de la matèria. Una mutació és, en si mateixa, un esdeveniment microscòpic, quàntic, on per definició s'aplica el principi d'incertesa. Un esdeveniment que és doncs, per naturalesa, *essencialment imprevisible*» (3).

Una altra expressió de l'atzar es troba en la cadena d'aminoàcids que componen una proteïna. «En concret, són estructures "per atzar", en el sentit que malgrat conèixer exactament l'ordre de 199 dels residus d'una proteïna de 200, és impossible formular cap regla, teòrica o empírica, que permeti preveure la naturalesa de l'únic residu no identificat encara en l'anàlisi» (3).

La relació entre l'atzar i la necessitat

L'autor subratlla el paper central de l'atzar en el desenvolupament dels éssers vius. L'atzar és a l'origen «... de tota innovació, de tota creació en la biosfera. L'atzar pur, només l'atzar, absolutament lliure però cec, a l'arrel mateixa de l'edifici prodigiós de l'evolució: aquesta noció central de la biologia moderna no és avui una hipòtesi entre altres possibles o versemblants. És l'*única* hipòtesi concebible, compatible amb els fets observats i experimentals» (3). L'atzar està, però, unit a la necessitat.

El següent fragment resumeix el lligam entre l'atzar i la necessitat: «[...] un cop inscrit en l'estructura del DNA, l'accident singular, i com a tal, essencialment imprevisible, és replicat i

traduït de forma mecànica i fidel, i així, a la vegada multiplicat i transposat a milions i milions d'exemplars. Extret del regne del pur atzar, entra en el regne de la necessitat, de les certes més implacables. Perquè és a l'escala macroscòpica de l'organisme que actua la selecció. [...] La selecció, en efecte, actua *sobre* el resultat de l'atzar i no pot alimentar-se enlloc més, però opera en un àmbit d'exigències molt rigoroses on l'atzar és prohibit. D'aquestes exigències, i no de l'atzar, l'evolució deu el seu curs ascendent, les seves conquestes successives, la imatge que sembla donar d'un desplegament ordenat» (3).

François Jacob, al seu torn, ho expressa de forma similar i succinta: «La variació apareix per atzar, sense relació entre causa i efecte. Tan sols després de la seva aparició, l'ésser viu afronta les exigències de l'existència. És un cop sorgits, que els candidats són provats i avaluats en la reproducció» (20).

L'atzar a l'origen de la vida

L'existència dels éssers vius s'explica per les lleis de la física i la química, però és fortuïta: «La tesi que presento aquí és que la biosfera no conté una classe inevitable d'objectes o de fenòmens, sinó que constitueix un esdeveniment particular, compatible certament amb els principis primers, però no *deduïble* d'aquests principis, i, per tant, essencialment imprevisible» (3).

L'autor discuteix la possibilitat que la vida s'hagi originat diverses vegades: «A causa de la universalitat de les seves estructures, començant pel codi [genètic], la biosfera apareix com el producte d'un esdeveniment únic. És possible, per descomptat, que el seu caràcter únic s'hagi aconseguit per l'eliminació a través de la selecció d'altres intents o variants. Però res no porta a aquesta conclusió» (3).

La paradoxa del codi genètic és «que no té sentit a menys que sigui traduït» (3). En discutir sobre les propietats de la cèl·lula més primitiva, s'afirma «... l'invent essencial és el codi genètic, és a dir, la programació en el DNA d'una molècula traduïble a una proteïna, la qual ajuda, directament o indirectament, a la reproducció del DNA» (23). Així, la contingència i la complexitat de la transmissió del codi genètic caracteritzen l'aparició de la vida, que en conclusió, «Va ser un esdeveniment molt improbable, altament improbable» (29).

L'atzar a l'origen de l'ésser humà

L'aspecte contingent de l'existència dels éssers vius, incloent l'ésser humà, ha estat expressada de diverses ocasions per Jacques Monod. Per exemple, afirma: «Hem de concloure que l'existència de qualsevol espècie en concret és un esdeveniment singular, un esdeveniment que té lloc una vegada a l'univers, i és, bàsicament i totalment, imprevisible, i això inclou l'existència de la nostra espècie, és a dir, l'home» (21). Un altre exemple és: «I l'home ha d'entendre que és un mer accident. No tan sols no és el centre de la creació, sinó que tampoc és l'hereu d'una evolució predeterminada que hauria conduït a ell, o bé, en qualsevol cas, a alguna cosa molt similar» (6).

Seguint la lògica de l'argument, l'autor sentència: «[...] l'aparició de la vida mateixa i, en la biosfera, el sorgiment de l'home no poden ser concebuts més que com el resultat d'un joc fantàstic d'atzar on el nostre número a acabat sortint; podia no haver aparegut i, de tota manera, al cosmos insondable que ens envolta li importaria ben poc» (14). I també mostra la seva perplexitat: «L'univers no estava prenyat de vida, ni la biosfera de l'home. El nostre número ha sortit al joc de Montecarlo. Què hi ha de sorprenent que, com aquell que hi ha guanyat mil milions, sentim l'estranyesa de la nostra condició?» (3).

Els animismes i els vitalismes

Les explicacions transcendents del món, però, són criticades per l'autor. En les explicacions animistes, es projecten sobre els fenòmens naturals raons que són pròpies dels éssers humans, donant lloc a les diferents doctrines religioses o filosòfiques com el marxisme.

Els animismes estableixen un profund lligam, una aliança, entre la naturalesa i l'home: «[...] en pràcticament tots els sistemes mítics, religiosos o filosòfics, el sentit de l'existència de l'home es fonamenta en la suposició que pertany a algun pla general que explica tota la naturalesa i la creació. El "sentit" pot ser atribuït ingènument a un heroi mític fundador o, de forma més grandiosa (encara que menys poètica), a alguna intenció divina i abstracta. O, també, s'assumeix que les "lleis de la natura" són tals que l'evolució de l'univers té com a resultat l'home i la seva història, abocant, inevitablement, a una societat sense classes. La forma i el rol social d'aquests sistemes, per diferents que siguin, són els mateixos. Tots pressuposen entre l'home i l'univers, entre la cosmologia i la història, una continuïtat ininterrompuda, una aliança immanent i profunda» (14). Els vitalismes pressuposen una força inherent a la matèria viva, que faria diferent les lleis que s'apliquen al món inanimat de les lleis dels éssers vius.

Però «l'actitud científica revela a l'home que no és altra cosa que un accident, quasi un estranger a l'univers, i redueix "l'antiga aliança", entre ell i la resta de la creació, a un fil tènue i fràgil. Cap dels mites bondadosos o esfereïdors que va somiar, cap de les esperances que ha mantingut, cap de les certeses que han aguantat la seva vida moral i social durant mil·lennis no pot sostenir-se per més temps» (14).

El postulat d'objectivitat i l'ètica del coneixement

El raonament propi de la ciència segueix el que l'autor anomena el *postulat d'objectivitat* (23): «El postulat d'objectivitat és consubstancial a la ciència, ha guiat tot el seu prodigiós desenvolupament des de fa tres segles. No és possible deixar-lo, encara que sigui de forma provisional, o en un àmbit concret, sense allunyar-se de l'àmbit de la ciència» (3).

El postulat afirma que «no hi ha intencionalitat en la naturalesa» (11). En altres paraules, és el rebuig «a considerar que el coneixement "vertader" pugui aconseguir-se mitjançant la interpretació dels fenòmens en termes de causes finals, és a dir, de "projecte"» (3). El coneixement «no pot tenir altre origen que no sigui la confrontació sistemàtica de la lògica i l'experiència» (3).

El postulat implica una disposició moral prèvia que sorgeix del mateix individu. Es diferencia «[...] radicalment de les ètiques animistes que clamen ser fundades sobre un "coneixement" de lleis immanents, religioses o "naturals", que s'imposen a l'home. L'ètica del coneixement no s'imposa a l'home; és ell, al contrari, qui se l'imposa, fent-ne, axiomàticament, el requisit per l'autenticitat de tot discurs i tota acció» (3). Però també implica una actitud social. És una «ètica de la llibertat personal i política, perquè la contestació, la crítica i el qüestionament permanents són un deure, no tan sols un dret. Ètica social, atès que el coneixement objectiu no pot desenvolupar-se si no és en una comunitat que en respecti els seus principis» (28).

Els epígrafs de l'obra

El llibre comença amb dues citacions. Jacques Monod atribueix la primera, «Tot en la natura és fruit de l'atzar i de la necessitat», a Demòcrit, encara que aquesta autoria ha estat discutida per alguns estudiosos (7, 30, 31).

La segona citació és un fragment extens del final de *Le mythe de Sisyphe*, d'Albert Camus, que ofereix una interpretació del mite grec de Sísif, el mortal condemnat pels déus a empènyer una roca fins al cim d'una muntanya i veure-la rodolar avall, una i una altra vegada, per tota l'eternitat. Sísif ha estat castigat pel «seu menyspreu als déus, el seu odi a la mort i la seva passió per la vida» (18).

Jacques Monod, en entrevista radiofònica, comenta el motiu de l'elecció. La relaciona amb «El regne i les tenebres», el capítol amb el qual finalitza, a manera de recapitulació, *Le hasard et la nécessité*: «Aquesta citació, és la vertadera clau del meu llibre i els crítics o els lectors que es pregunten sobre el sentit de les deu últimes pàgines haurien d'adreçar-se a l'epígraf, a la citació de Camus» (11). A continuació, es reproduïx aquesta citació.

«En aquest instant subtil en què l'home mira enrere la seva vida, Sísif, retornant a la seva roca, contempla aquesta sèrie d'accions sense lligam que es converteixen en el seu destí, creat per ell, unit sota la mirada de la seva memòria, i, aviat, segellat per la seva mort. I així, convençut de l'origen absolutament humà de tot el que és humà, cec que desitja veure i que sap que la nit no té fi, ell està així constantment en moviment. La roca encara rodola.

Deixo Sísif al peu de la muntanya! Un sempre retroba la seva càrrega. Però Sísif ensenya la fidelitat superior que nega els déus i aixeca les roques. Ell considera també que tot està bé. Aquest univers, sense amo per sempre més, no li sembla estèril ni fútil. Cada un dels grans d'aquesta pedra, cada fragment mineral d'aquesta muntanya plena de nit, és, per ell mateix, un món. La lluita mateixa vers els cims és suficient per omplir el cor d'un home. Cal imaginar Sísif feliç».

Conclusió

L'historiador Horace Freeland Judson qualifica d'edat daurada de la ciència els primers anys de la biologia molecular, quan s'estableix la naturalesa de la transmissió dels caràcters heretables i la seva expressió en la cèl·lula. Es tracta d'un període en què els científics provenen d'àmbits diferents, interactuen i comparteixen les idees. Els experiments són senzills, amb mitjans tècnics rudimentaris, però es fan grans troballes les quals obren interrogants inesperats. I segueix: "Però una edat daurada en la ciència és quelcom més que un marc circumscrit, uns mitjans modestos i unes grans idees. Una vertadera edat daurada també és una edat d'innocència. I així prospera, per un temps en l'oceà dur i competitiu del segle vint, com una illa d'idealisme i de joc, i al mateix temps, de culte auster a la passió i la grandesa intel·lectuals" (6).

Jacques Monod examina el que impliquen els descobriments científics que ha viscut com a protagonista. Es fa difícil negar la coherència del seu pensament, encara que les conseqüències filosòfiques a les quals arriba puguin ser eventualment rebutjades o matisades. Es pregunta sobre el lloc dels éssers vius en el conjunt de l'univers i posa també la seva mirada lúcida sobre la condició humana.

Referències

- (1) <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1965/> (accés: 2016-10-02).
- (2) El Premio Nobel de Medicina concedido a tres profesoras del Instituto Pasteur. La Vanguardia 1965;(30905):1.<<http://hemeroteca.lavanguardia.com/preview/1965/10/15/pagina-1/33568572/pdf.html>> (accés: 2016-10-02).
- (3) Monod J. *Le hasard et la nécessité*. Paris: Éditions du Seuil; 1970.
- (4) Lwoff A, Ullmann A, dirs. *Les origines de la biologie moléculaire. Un hommage à Jacques Monod*. Paris: Études vivantes; 1980. [ISBN: 2.7310.6901.5].

- (5) Ullmann A. Jacques Monod, 1910-1976: his life, his work and his commitments. *Res Microbiol* 2010;161:68-73. doi:10.1016/j.resmic.2009.12.005.
- (6) Judson HF. The eighth day of creation. Makers of the revolution in biology. Commemorative edition. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press; 2013. [ISBN: 978-0-879694-78-4].
- (7) Soulier JP. Jacques Monod. Le choix de l'objectivité. Paris: Éditions Frison-Roche; 1997. [ISBN: 2-87671-253-9].
- (8) Debré P. Jacques Monod. Paris: Flammarion; 1998. [ISBN-10: 2080671731].
- (9) Citat a: Tirard S. Monod, Althusser et le marxisme. A: Debru C, Morange M, Worms F, dirs. Une nouvelle connaissance du vivant. François Jacob, André Lwoff et Jacques Monod. Paris: Editions Rue d'Ulm/Presses de l'École normale supérieure; 2012. [ISBN: 978-2-7288-0470-2].
- (10) Medvedev J. Grandeur et chute de Lyssenko. [Traduit per Martory P]. Paris: Éditions Gallimard; 1971.
- (11) Chancel J. Radioscopie 2. Paris: Editions Robert Laffont; 1972.
- (12) Carroll SB. Brave genius: a scientist, a philosopher and their daring adventures from the French resistance to the Nobel prize. 1a ed. Nova York: Crown Publishers; 2013. [ISBN: 978-0-307-95233-2].
- (13) Anònim. Jacques Monod aime lire. Lire. Le magazine des livres 1975;2:234-243.
- (14) Monod J. La science et ses valeurs. A: Monod J. Pour une éthique de la connaissance. Textes choisis et présentés par Bernardino Fantini. Paris: Éditions La Découverte; 1988. [ISBN: 2-7071-1763-3].
- (15) Hugues E J (dir). The Cambridge Companion to Camus. Cambridge: Cambridge University press; 2007. [ISBN 978-0-521-54978-3].
- (16) Camus A. On Jean-Paul Sartre's La Nausée. A: Thody P (dir). Lyrical and Critical Essays. Nova York: Vintage Books; 1970. [ISBN: 978-0-307-82778-4].
- (17) <http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/literature/laureates/1957/camus-speech-f.html> (Accès 2016-06-14).
- (18) Camus A. Le mythe de Sisyphe. Paris: Éditions Gallimard; 1985. [ISBN-10: 2070322882].
- (19) Citat a: Foley J. Albert Camus. From the absurd to revolt. Stocksfield: Acumen; 2008. [ISBN 978-1-84465-141-2].
- (20) Jacob F. La logique du vivant. Une histoire de l'hérédité. Paris: Éditions Gallimard; 1970.
- (21) Monod J. On the molecular theory of evolution. A: Harré R, dir. Problems of scientific revolution. Progress and obstacles to progress in the sciences. The Herbert Spencer Lectures 1973. Oxford: Clarendon Press; 1975. [ISBN 0 19 8582137].
- (22) Oppenheimer J. Life and Necessity and Chance and Man. *Q Rev Biol* 1972;47:63-67. <<http://www.jstor.org/stable/2820825>> (Accès 2016-03-14).
- (23) Monod J. Jacques Monod: Autocritique. *Bulletin d'histoire et d'épistémologie des sciences de la vie* 2010;17:111-124.
- (24) Harman O. Chance and necessity revisited. *J Hist Biol* 2014;47:479-83. Doi 10.1007/s10739-014-9390-3.
- (25) Hess JC. French Nobel biologist says world based on chance leaves man free to choose his own ethical values. *The New York Times* 1971.
- (26) Jacques Monod. A: Toulmin SE. The return to cosmology. Postmodern science and the theology of nature. Berkeley: University California Press, Ltd.; 1982. [ISBN: 0-520-04295-6].
- (27) Monod J. Chance and necessity. An essay on the natural philosophy of modern biology. Harmondsworth; Penguin Books Ltd; 1997. [ISBN: 0-14-025646-6].
- (28) Monod J. De la biologie moléculaire à l'éthique de la connaissance. *L'age de la science* 1968;1:3-18.
- (29) Anònim. La science, valeur suprême de l'homme. Interview de Jacques Monod. *Raison présente* 1967;5:11-19.
- (30) Fantini. B. Préface. La formation d'un intellectuel. A: Monod J. Pour une éthique de la connaissance. Textes choisis et présentés par Bernardino Fantini. Paris: Éditions La Découverte; 1988. [ISBN: 2-7071-1763-3].
- (31) Danchin A. Order and Necessity. A: Quagliariello E, Bernardi G, Ullmann A, dirs. From enzyme adaptation to natural philosophy: heritage from J Monod. Amsterdam: Elsevier Science Ltd; 1987. [ISBN-10: 0444808876]. <<http://www.normalesup.org/~adanchin/causeries/monod.html>> (accès: 2016-06-07).