

Pasteur, el padre de la Microbiología moderna

EDUARDO VILLALOBO POLO

Profesor Titular del Departamento de Microbiología de la Universidad de Sevilla.

✉ evpolo@us.es | [@ptu_us_es](https://twitter.com/ptu_us_es)



Dans les champs de l'observation, le hasard ne favorise que les esprits préparés

(En el campo de la observación, la suerte favorece sólo a las mentes preparadas)

En diciembre de este año 2022 se celebra el bicentenario del nacimiento de Louis Pasteur, uno de los científicos franceses más sobresalientes, que estuvo a la altura de científicas de ese país galardonadas con el Premio Nobel como Maria Skłodowska, su hija Irène Joliot-Curie o Françoise Barré-Sinoussi. Pasteur es un personaje de la cultura francesa tan reconocible como las escritoras Simone de Beauvoir o Madame de La Fayette. El ilustre Pasteur fue y es tan importante para su país que da su nombre a una de las dos únicas instituciones científicas que en Francia llevan nombres propios, el *Institut Pasteur*; la otra es el *Institut Curie*. Pasteur es además un icono del país vecino tan universal y conocido por todos como la *révolution française* de 1789, la *Tour Eiffel* o la *baguette*. ¿Quién no ha oído hablar alguna vez de la pasteurización?, ese proceso térmico que lleva su nombre, que evita enfermedades transmitidas por alimentos y ha salvado tantas vidas.

Aquí contaré algunos aspectos de la vida de Pasteur y reseñaré sus principales logros científicos de forma resumida

y no siempre cronológica. La ilustración de Pasteur mostrada al principio de este artículo, realizada por @CireniaSketches, forma parte de las acciones que desde la Universidad de Sevilla llevo a cabo para conmemorar los 200 años del nacimiento de Louis Pasteur.

Desde sus primeros años hasta su fallecimiento, pasando por su matrimonio

Louis Pasteur nació el 27 de diciembre de 1822, siendo el tercer hijo y único varón del matrimonio compuesto por Jeanne-Étienne Roqui y Jean-Joseph Pasteur. Nació en Dole, ciudad situada en el departamento del Jura en la región francesa Bourgogne-Franche-Comté. Allí vivió sus primeros años hasta que en 1830 la familia se trasladó a la ciudad de Arbois, distante unos 30 Km de la ciudad que le vio nacer.

Es en Arbois donde el pequeño Pasteur estudió, primero en la *École mutuelle* lue-

go en el *College*. Obtuvo su *baccalauréat* en Letras en Besançon en 1840 y el de Ciencias y Matemáticas en Dijon en 1842. Después de varias idas y venidas a la capital francesa, en 1843 el joven Pasteur fue admitido en la *École Normale Supérieure* (ENS) de París, donde se embarcó en estudios de Química, Física y Cristalografía.

Si bien Pasteur comenzó su carrera como químico, acabó siendo uno de los padres fundadores de la Microbiología moderna. Pero antes de eso, en sus años de niñez y juventud parecía estar más interesado por la pintura que por la Ciencia. Esta afición artística revela que fue una persona tremendamente creativa y con gran maestría para el trabajo manual, atributos que más tarde formaron parte de su *savoir faire* como científico.

Louis se casó en 1849 con Marie Anne Laurent, la hija del rector de la *Académie de Strasbourg*. Marie Pasteur (1826-1910), nombre de casada, fue una persona cultivada, inteligente y curiosa, siempre interesada por las investigaciones de Louis. No es de extrañar que se convirtiera en



© maisonPasteurDole



© maisonPasteurArbois

Panel 1. A la izquierda, detalle de la fachada de la casa natal de Pasteur, sita en el número 43 de la calle Pasteur en la ciudad de Dole. A la derecha, casa-laboratorio de Pasteur, situada en el número 83 de la calle Courcelles en la ciudad de Arbois. Ambas casas se pueden visitar. Fotos cedidas amablemente por Terre de Louis Pasteur (<https://www.terredelouispasteur.fr>).

su asistente de investigación, bien ayudando en el laboratorio o como secretaria o redactora de sus artículos. Sirva este artículo para homenajear también a quien tanto apoyó al científico y para visibilizar el trabajo de las mujeres en la Ciencia, tantas veces olvidado y poco reconocido.

El matrimonio Pasteur tuvo cuatro hijas y un hijo. El destino de tres de sus hijas fue trágico, pues murieron jóvenes, dos de ellas de fiebres tifoideas y otra de un tumor en el hígado. Las desgracias no acabaron aquí, pues el propio Louis se vio aquejado de una hemiplejía, consecuencia de varios accidentes cerebrovasculares en 1868. Aunque se recuperó, la secuela de la enfermedad le dejó prácticamente inutilizada la mano izquierda y le produjo dificultad para caminar; a pesar de todo no dejó de trabajar.

En diciembre de 1892, en su 70 aniversario, para rendirle homenaje se celebró un jubileo en el gran anfiteatro de la Sorbona. El acontecimiento, al que asistió Marie François Sadi Carnot, presidente de la Tercera República y sobrino del padre de la termodinámica (Nicolas Léonard Sadi Carnot), contó también con la presencia de Joseph Lister (1827-1912), eminente científico británico y padre de las técnicas antisépticas aplicadas a la cirugía. Esta conmemoración se inmortalizó con una medalla en plata acuñada por Oscar Roty y un óleo sobre lienzo de Jean André Rixens. Tres años más tarde, el 28 de septiembre de 1895, Louis Pasteur fallecería

en Marnes-la-Coquette, una villa cercana a Versalles y distante unos 11 Km de París, inhumándose su cuerpo en una cripta del *Institut Pasteur*. Dentro del instituto parisino hay un museo dedicado a la memoria del gran científico.

Un sinfín de puestos académicos y distinciones a la altura de un genio

Nuestro destacado científico ocupó numerosas plazas en universidades e instituciones científicas. Ya en 1849, el mismo año de su matrimonio, consiguió una plaza de profesor suplente en la Facultad de Ciencias en la *Université de Strasbourg*, después de ser profesor de Física en el *Lycée de Dijon*. Luego, en 1854, fue nombrado profesor de Química y Decano de la Facultad de Ciencias de la *Université de Lille*. Más tarde, en 1857, Pasteur se encargó de la dirección de los estudios de la ENS, aunque dimitió en 1867. No obstante, la institución le concedió un laboratorio para proseguir con sus investigaciones. Tras la dimisión, ocupó una cátedra en la Facultad de Ciencias de la *Sorbonne Université*. Pasteur también se interesó por la política. Muestra de ello es que en 1876 se presentó a las elecciones al Senado francés, aunque no fue elegido; desilusionado y enfermo, se refugió en Clermont-Ferrand, donde realizaría sus últimos trabajos.

Numerosas fueron también las membresías que ostentó en Francia, entre otras la de miembro de la *Académie des Sciences* desde 1862, miembro libre asociado de la *Académie Nationale de Médecine* desde 1873, miembro de la *Académie Vétérinaire de France* desde 1879, o miembro con el sillón 17 de la *Académie Française* desde 1881. El talento de Pasteur también fue reconocido por academias de otros países, perteneciendo entre otras a la *Royal Society* desde 1869 o la *National Academy of Sciences* desde 1883.

Muchos fueron sus logros científicos y muchos también los reconocimientos, premios y distinciones que recibió tanto dentro como fuera de su país. En Francia fue nombrado *Commandeur de la Légion d'Honneur* en 1868 y *Grand Officier de la Légion d'Honneur* en 1878. Entre los premios que recibió he de destacar algunos como la *Rumford Medal* (1856) y la *Copley Medal* (1874) de la *Royal Society*, el *Prix Jecker* (1861) y el *Prix Alhumbert* (1862) de la *Académie des Sciences*, o la *Leeuwenhoek-Medaille* de la *Königlich Niederländische Akademie der Wissenschaften* (1895). También fue nombrado *doctor honoris causa* por la *Universität Bonn* en 1868.

De la química de la quiralidad a la química de la fermentación

El joven Pasteur presentó en 1847 en la Facultad de Ciencias de París sus dos

trabajos de tesis en Química y Física, el primero titulado *Recherches sur la capacité de saturation de l'acide arsénieux: étude des arsénites de potasse, de soude et d'ammoniaque* y el segundo titulado *Étude des phénomènes relatifs à la polarisation rotatoire des liquides. Application de la polarisation rotatoire des liquides à la solution de diverses questions de chimie*, logrando el grado de doctor en Ciencias.

En 1848 resolvió el misterio de los isómeros ópticos del ácido tartárico (ácido 2,3-dihidroxiutanodioico), que parecía existir en dos formas de idéntica composición química, pero con propiedades diferentes dependiendo de su origen. Una de ellas, el "tártaro", un tartrato ácido de potasio, era bien conocido por los viticultores como un sólido que se separaba del vino durante la fermentación. Se sabía que el ácido tartárico desviaba el plano de la luz polarizada hacia la derecha (actividad óptica dextrógira). La otra forma conocida, el ácido racémico o ácido paratartárico, era ópticamente inactivo.

Pasteur utilizó un microscopio y descubrió que el ácido racémico contenía dos tipos de cristales, que separó y comprobó que eran imágenes especulares uno de otro. Una de estas formas cristalinas coincidía con los cristales del tartrato y desviaba el plano de polarización de la luz hacia la derecha, mientras que el otro cristal lo desviaba hacia la izquierda (actividad óptica levógira). También comprobó que cuando se disolvían cantidades iguales de ambos cristales, la disolución resultante era ópticamente inactiva. Pasteur atribuyó esta propiedad a la diferente disposición espacial de los átomos dentro de las moléculas. Quedó así evidenciado que la manera en la que los átomos están ordenados en el espacio era también una característica importante de muchas sustancias químicas y pudo zanjarse una de las incógnitas aún no resueltas en la Química de la época a saber, la disimetría (quiralidad) molecular. Estos hallazgos fueron publicados en diversas comunicaciones a la *Académie des Sciences*, entre ellas la primera de 1848, titulada *Recherches sur les relations qui peuvent exister entre la forme cristalline, la composition chimique et le sens de la polarisation rotatoire*. Sus trabajos en esta área de la Química continuarían hasta 1856.

Poco después Pasteur observó que una solución de ácido paratartárico se convertía en ácido tartárico levógiro por la acción fermentativa de un moho. Así, decidió estu-

diar qué sucedía con el ácido tartárico en la fermentación alcohólica. Ya en 1957, en su comunicación a la *Académie des Sciences* sobre la fermentación alcohólica (*Mémoire sur la fermentation alcoolique*) explicó que la forma dextrógira del ácido tartárico se fermentaba, mientras que la forma levógira permanecía en el medio. Las ideas expresadas no sólo en el trabajo sobre la fermentación alcohólica, sino también en otro publicado sobre la fermentación láctica (*Mémoire sur la fermentation appelée lactique*, C. R. T. 45, 1857, 913-916), dejaron entrever que Pasteur empezaba a convencerse de que los seres vivos tenían un papel destacado en los cambios químicos que se producían en las fermentaciones.

Continuando sus estudios sobre la fermentación alcohólica, observó que la presencia de oxígeno la inhibía. Es más, en estas condiciones de oxigenación, observó que aumentaba el crecimiento de los microorganismos responsables, las levaduras. Es lo que más tarde llamaríamos el efecto Pasteur. Luego, en 1861, determinó que el microorganismo responsable de la fermentación butírica, al que llamó *Vibrión butyrique*, crecía sin "aire", proponiendo que "respiraba" el oxígeno de las sustancias fermentables y usando por primera vez la palabra *anaérobio*. En 1877, sabiendo que había microorganismos anaerobios, el padre de la fermentación fue capaz de aislar el primer patógeno anaerobio, el *Vibrión septique*, responsable de la septicemia que mató a una oveja diagnosticada erróneamente de carunclo.

El acercamiento a la industria y a la biología de las fermentaciones

Cuando es nombrado Decano de la Facultad de Ciencias de la *Université de Lille* en 1854 Pasteur pronunció unas palabras que a la postre serían decisivas para acercar la industria a la academia: *sans la théorie, la pratique n'est que la routine donnée par l'habitude* (sin la teoría, la práctica no es más que la rutina que proporciona el hábito). Esta forma de entender las cosas revolucionaría para siempre no sólo al sector industrial, sino a las instituciones universitarias.

Además, como ha sucedido en otras historias científicas, el azar quiso que, años después, el señor Louis Bigo, padre de uno de los estudiantes de química de

Pasteur, se aproximara al insigne maestro para pedirle ayuda con unas fermentaciones fallidas que se llevaban a cabo en su empresa, dedicada a la producción de alcohol a partir de remolacha azucarera. El maestro ofreció su ayuda y es así como llegó definitivamente al mundo de la industria. Intuyo que esta colaboración hizo que Pasteur cambiara el foco de sus investigaciones sobre las fermentaciones desde la Química a la Biología. El mundo de lo vivo acabaría siendo, por suerte para todos y todas, el principal objeto de sus investigaciones.

Por si fuera poco, como responsable universitario estableció un plan de visitas de los estudiantes a fábricas, lo que a la postre permitió poner a disposición del sector industrial las infraestructuras de los laboratorios y el saber hacer de los investigadores, mientras que a la universidad le permitió conocer las necesidades productivas, todo un hito en lo que hoy día llamamos transferencia del conocimiento.

La apuesta de Pasteur, en este caso personal, por la transferencia de conocimiento se manifestó claramente en forma de varias patentes, relacionadas principalmente con los procesos fermentativos. Así, en Francia obtuvo hasta 6 patentes para la producción de vino, cerveza, vinagre o alcohol, y otras tantas en el extranjero. Cabe destacar, por el avance que supuso para la microbiología industrial en particular, su patente de 1865 *Brevet pour la conservation des vins* (Patente sobre la conservación de vinos), porque fue el punto de partida de la metodología que más tarde se popularizó como pasteurización, el tratamiento térmico que evita la presencia de microorganismos no deseados no sólo en el vino, sino también en otras bebidas, alimentos o en los medios de cultivo.

Pasteur, sin embargo, no patentó otros hallazgos que sí pudieron ser objeto de protección, como el método de preparación de vacunas. La razón última fue que las leyes de la época en Francia impedían patentar la gran mayoría de productos farmacéuticos de tipo médico o veterinario.

El científico también tuvo participación industrial directa, ya que en 1873 no solo ayudó a fundar la empresa *Société des bières inalterables*, sino que participó en la misma con un capital de 25.000 francos. Evidentemente, la empresa tuvo a su disposición las patentes del científico, ahora devenido en empresario. La faceta empresarial sirvió a

Pasteur para tener trato directo con inversores, lo que seguramente aprovecharía para recaudar el dinero necesario para la creación de su instituto, que sería el germen del *Institut Pasteur*. Recordaré que el instituto se creó en el año 1886 como sociedad anónima. Ese mismo año, Pasteur intervino de forma más o menos directa en la creación de otras dos empresas: la *Compagnie de vulgarisation des vaccins charbonneux Pasteur* y la *Société anonyme du filtre Chamberland (système Pasteur)*. Más tarde, en 1887, el instituto privado de Pasteur se declaró de utilidad pública, inaugurándose con el nombre de *Institut Pasteur* en 1888, con la presencia del presidente de la República, el ya mencionado Sadi Carnot. Y haciendo otro inciso, recordaré que la ciudad de Lille también cuenta con un *Institut Pasteur* propio, creado en 1894 como fundación privada, completamente independiente del instituto parisino, y declarado también de utilidad pública en 1898.

Fuera gracias a sus patentes, a sus premios o a su participación industrial, Pasteur amasó una gran fortuna, dejando aproximadamente un millón de francos a sus herederos, merecido fruto de su trabajo incansable, su buen hacer y, como no, de su genialidad.

Enfermedades

El estudio de las fermentaciones era el motor que parecía mover la carrera científica del genio en cada momento. Primero las estudió desde la perspectiva de la química básica, luego desde la perspectiva biológica tanto básica como aplicada. Es en esa última vertiente aplicada donde Pasteur empieza a sobresalir desde su llegada a Lille en 1854, como mencioné anteriormente.

Así, no es de extrañar que en torno a 1863 Napoleón III, monarca y emperador de Francia, encargara al maestro el estudio de la “enfermedad” de los vinos franceses, que tanto impacto negativo estaba teniendo en su comercialización. Sus investigaciones resolvieron el problema y supusieron un gran avance en el conocimiento del proceso de vinificación, compendiado esencialmente en su obra *Études sur le vin* de 1866. Diez años más tarde, en 1876, publicó otra obra similar *Études sur la bière*.

En la obra maestra sobre el vino, Pasteur habló del avinagramiento, observando que

los *Mycoderma* (microorganismos) del vino y del vinagre eran diferentes y que el avinagramiento lo producía este último; hoy día se sabe que el responsable es la bacteria *Acetobacter aceti*. En esa obra habló también del beneficio de calentar los caldos para matar a los gérmenes indeseables como el que producía el avinagramiento. Antes mencioné su patente, sin embargo, este tratamiento térmico, la pasteurización, tuvo sus detractores y relativamente poco éxito, pues se aplicaba, sobre todo, a vinos de escasa calidad. Otros, luego, aplicaron la pasteurización a otros alimentos, como la leche, consiguiendo más éxito.

Es posible que las investigaciones sobre la enfermedad de los vinos indujeran a Pasteur a interesarse por las enfermedades contagiosas que afectaban a animales y, como no, a humanos. Con todo, comenzó a estudiar enfermedades por encargo y para resolver fallos en procesos productivos, como ocurrió a lo largo de gran parte de su carrera.

Así, su mentor, Jean-Baptiste Dumas, siendo ministro de Agricultura y Comercio, convenció a Pasteur en 1865 para que estudiara una enfermedad que afectaba a los gusanos de seda, la pebrina. Sin saber nada de entomología, se embarcó en la tarea, resolviendo el problema con el método de segregación de los capullos. Si bien su método consiguió evitar la pebrina, no evitó otra enfermedad más compleja, la *flacherie*. A pesar de ello, logró relanzar parcialmente la producción de seda y fue reconocido como el salvador de la sericultura francesa.

Desde entonces, sin ser veterinario ni tampoco médico, nuestro ilustre personaje se dedicó a estudiar enfermedades contagiosas de animales; nuevamente, muchas de estas enfermedades afectaban negativamente a procesos productivos, disminuyendo la productividad. Destacan sus estudios sobre el cólera aviar, el carbunco ovino o la erisipela porcina.

Entre las enfermedades humanas estudiadas por el maestro destacaron la fiebre puerperal, que fue epidemia en las maternidades de la época, la forunculosis, la osteomielitis infecciosa o la rabia, frente a la cual consiguió un remedio muy eficaz, una vacuna. Las investigaciones de Pasteur en el ámbito de la salud condujeron no sólo a desarrollar una nueva forma de preparar vacunas, sino también al desarrollo de las técnicas de asepsia y a forta-

lecer las bases de la teoría microbiana de la enfermedad, como mencionaré en las siguientes secciones.

Vacunas atenuadas: ¿suerte o genialidad?

En torno a 1879, enfrascado en resolver el problema de la mortandad de gallinas afectadas por el cólera, Pasteur cultivó el patógeno causante de la enfermedad, que hoy sabemos que es una especie de *Pasteurella*. Utilizó el germen aislado para obtener una vacuna, sin embargo, hay dos versiones de cómo llegó a conseguirlo. Según la primera versión, unos cultivos viejos y abandonados en el laboratorio se usaron por casualidad en los ensayos de vacunación. Como ha pasado otras veces en la historia de la Ciencia, se trataría de un golpe de suerte. Según otra versión, fue simplemente una genialidad, pues el insigne científico ya conocía el proceso de atenuación de la virulencia, siendo de hecho lo que buscaba de forma activa cuando decidió emplear los cultivos abandonados.

Fuera como fuere, el método de atenuación supuso un gran avance en la preparación de diferentes vacunas, al que el propio Pasteur no fue ajeno, pues se embarcó también en la obtención de una vacuna contra el carbunco ovino y otra contra la rabia. La primera de estas vacunas fue exitosa y se encargó a la sociedad *Compagnie de vulgarisation des vaccins charbonneux Pasteur* su comercialización internacional. Respecto a la vacuna de la rabia, si bien es conocido que sirvió para salvar la vida del niño de nueve años Joseph Meister en 1885 y recaudar el dinero necesario para crear el instituto Pasteur, menos conocido es que la vacuna fracasó en otras dos ocasiones.

Asepsia, mejora del tratamiento térmico y filtración

El maestro se dio cuenta de que los microorganismos estaban por todas partes, por eso pensó que el agua que se usaba para limpiar el material clínico también transmitía gérmenes que producían infecciones, subrayando la necesidad de eliminar estos microbios para evitarlas. En este sentido, la aplicación de su tratamiento térmico al agua empleada para limpiar

el material quirúrgico fue bastante eficaz y evitó muchas infecciones postoperatorias. Pasteur fue, por tanto, uno de los precinizadores no solo de la higiene personal sino también de la asepsia, definida como la ausencia de material séptico o que produce putrefacción.

Alrededor de 1879, de los laboratorios de este francés universal también salió una mejora del tratamiento térmico, el autoclave de Chamberland, que se aplicó por primera vez para esterilizar medios de cultivo microbiológico. El propio Chamberland (1851-1908) diseñaría unos filtros porosos de porcelana, conocidos como filtros de Chamberland-Pasteur, que se usarían para filtrar agua y evitar que contuviera microorganismos. Las patentes de estos filtros fueron explotadas por otra de las empresas que mencioné anteriormente, la *Société anonyme du filtre Chamberland (système Pasteur)*.

La teoría microbiana de las enfermedades y la refutación de la teoría de la generación espontánea

Ambas teorías están íntimamente relacionadas porque la refutación de la teoría de la generación espontánea fue un cimiento más en la construcción de la teoría microbiana de las enfermedades. Nuevamente, los conocimientos que Pasteur fue acumulando sobre las fermentaciones y su origen microbiano fueron clave para embarcarse en la refutación de la teoría de la generación espontánea. Recordemos que ésta es, en su origen, una teoría aristotélica que propone que la vida se genera a partir de lo que no la tiene por mediación de la interacción de fuerzas vitales.

A partir de 1860, Pasteur publicó una serie de artículos sobre la generación espontánea, pero el trabajo más conocido fue el de 1862 presentado a la *Académie de Sciences* y titulado *Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère, et sur la doctrine des générations spontanées*. Su experimento de refutación, que ha pasado a la historia de la Ciencia, fue el del matraz de cuello de cisne, un recipiente en forma de balón conectado al exterior por un tubo ondulado, grueso en su base y que disminuye su calibre hasta llegar a su extremo abierto. Para los experimentos colocó

medio de cultivo dentro de los matraces y los sometió a tratamiento térmico, que eliminaba todo rastro de microorganismos. Luego, incubó los matraces con el medio durante un cierto tiempo para que el aire penetrara y finalmente comprobó si había o no alteración del medio. En la mayor parte de los experimentos, que se realizaron en localizaciones y momentos diferentes, el contenido de los matraces permaneció inalterable, a pesar de que el aire que penetraba dentro no había sufrido tratamiento alguno. Por el contrario, se observaba alteración del medio de cultivo cuando se rompía el cuello del matraz o cuando una gota del medio de cultivo del interior se hacía llegar al extremo del cuello. En otra serie de experimentos, observó que la orina o la sangre no tratadas térmicamente solo se alteraban cuando el aire no se filtraba. Todos estos experimentos refutaron definitivamente la teoría de la generación espontánea.

Reconocimiento de autoría

En muchas ocasiones atribuir teorías, conceptos, logros o avances científicos a un único experimento, a una única persona o a un único momento histórico es injusto porque en su mayor parte son el resultado de la suma de experimentos, de conocimientos, de mejoras tecnológicas, de cambios en la mentalidad social y, sobre todo, de lo aportado por muchas personas investigando. Por simplificar, he atribuido únicamente a Pasteur muchos logros científicos e incluso lo he llamado el "padre" de la Microbiología moderna, como si hubiera sido el único. A esta altura nadie duda de su contribución a la Ciencia, como genio que fue, pero he de reconocer que algunos investigadores que no he citado consiguieron los mismos logros antes que él. A Pasteur se le puede criticar no haber mencionado o no reconocer los méritos de esos otros muchos científicos. Desgraciadamente, caeré en el mismo error por cuestión de espacio. El lector puede solventar, en parte, mi error repasando la literatura que se muestra a continuación.

Lecturas adicionales recomendadas

La producción científica de Pasteur para la *Académie des Sciences* se puede consultar

en https://www.academie-sciences.fr/archivage_site/fondations/lp_publi.htm, mientras que otras obras se pueden encontrar en <https://gallica.bnf.fr/accueil/es/content/accueil-es?mode=desktop> de la *Bibliothèque Nationale de France*. El artículo de Wikipedia en francés sobre Pasteur es muy recomendable, por ser el más completo de todos los disponibles en cualquier idioma (https://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Pasteur#cite_note-72). Los números 111 y 112 de 2017 de Noticias SEM contienen dos excelentes artículos escritos por Juan J. Borrego de la Universidad de Málaga, titulados La Microbiología en sellos V. El padre de la bacteriología: Louis Pasteur (I) y La Microbiología en sellos VII. El padre de la bacteriología: Louis Pasteur (II). El trabajo fin de grado de Javier Agudo Toscano de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Sevilla, titulado Pioneros de la Microbiología: Louis Pasteur, es una lectura amena. Recomiendo también la visita virtual a <https://artsandculture.google.com/story/louis-pasteur-up-close/XAXBwj6OxM9xKA> y a la fototeca del *Institut Pasteur* en https://phototheque.pasteur.fr/fr/navigation/list/WS/HOME_MENU/node/48/slug/louis-pasteur-1822-1895/nobc/1. Para saber aún más, se pueden leer las siguientes revisiones en inglés:

Referencias

- **Ligon BL** (2002) Louis Pasteur: a controversial figure in a debate on scientific ethics. *Semin Pediatr Infect Dis* 13: 134-141. <https://doi.org/10.1053/spid.2002.125138>
- **Berche P** (2012) Louis Pasteur, from crystals of life to vaccination. *Clin Microbiol Infect* 18 (Suppl 5): 1-6. <https://doi.org/10.1111/j.1469-0691.2012.03945.x>
- **Cavaillon JM, Legout S** (2022) Louis Pasteur: Between Myth and Reality. *Biomolecules* 12: 596. <https://doi.org/10.3390/biom12040596>