

INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO Y CONTENIDO DE LA MICROBIOLOGÍA

- La Microbiología se puede definir, sobre la base de su etimología, como la ciencia que trata de los seres vivos muy pequeños, concretamente de aquellos cuyo tamaño se encuentra por debajo del poder resolutivo del ojo humano. Esto hace que el objeto de esta disciplina venga determinado por la metodología apropiada para poner en evidencia, y poder estudiar, a los microorganismos.
- Precisamente, el origen tardío de la Microbiología con relación a otras ciencias biológicas, y el reconocimiento de las múltiples actividades desplegadas por los microorganismos, hay que atribuirlos a la carencia, durante mucho tiempo, de los instrumentos y técnicas pertinentes.
- Con la invención del microscopio en el siglo XVII comienza el lento despegue de una nueva rama del conocimiento, inexistente hasta entonces. Durante los siguientes 150 años su progreso se limitó casi a una mera descripción de tipos morfológicos microbianos, y a los primeros intentos taxonómicos, que buscaron su encuadramiento en el marco de los "sistemas naturales" de los Reinos Animal y Vegetal.
- El asentamiento de la Microbiología como ciencia está estrechamente ligado a una serie de controversias seculares (con sus numerosas filtraciones de la filosofía e incluso de la religión de la época), que se prolongaron hasta finales del siglo XIX.
- La resolución de estas polémicas dependió del desarrollo de una serie de estrategias experimentales fiables (esterilización, cultivos puros, perfeccionamiento de las técnicas microscópicas, etc.), que a su vez dieron nacimiento a un cuerpo coherente de conocimientos que constituyó el núcleo aglutinador de la ciencia microbiológica.
- El reconocimiento del origen microbiano de las fermentaciones, el definitivo abandono de la idea de la generación espontánea, y el triunfo de la teoría germinal de la enfermedad, representan las conquistas definitivas que dan carta de naturaleza a la joven Microbiología en el cambio de siglo.
- Tras la Edad de Oro de la Bacteriología, inaugurada por las grandes figuras de Pasteur y Koch, la Microbiología quedó durante cierto tiempo como una disciplina descriptiva y aplicada, estrechamente imbricada con la Medicina, y con un desarrollo paralelo al de la Química, que le aportaría varios avances metodológicos fundamentales. Sin embargo, una corriente, en principio minoritaria, dedicada a los estudios básicos centrados con ciertas bacterias del suelo poseedoras de capacidades metabólicas especiales, incluyendo el descubrimiento de las que afectan a la nutrición de las plantas, logró hacer ver la ubicuidad ecológica y la extrema diversidad fisiológica de los microorganismos.
- De esta forma, se establecía una cabeza de puente entre la Microbiología y otras ciencias biológicas, que llegó a su momento decisivo cuando se comprobó la unidad química de todo el mundo vivo, y se demostró, con material y técnicas microbiológicas que la molécula de la herencia era el ADN. Con ello se asiste a un íntimo y fértil intercambio entre la Microbiología, la Genética y la Bioquímica, que se plasma en el nacimiento de la Biología Molecular, base del espectacular auge de la Biología desde mediados de este siglo.

Por otro lado, el "programa" inicial de la Microbiología (búsqueda de agentes infectivos, desentrañamiento y aprovechamiento de los mecanismos de defensa del hospedador) condujeron a la creación de ciencias subsidiarias (Virología, Inmunología) que finalmente adquirieron su mayoría de edad y una acentuada autonomía.

Por último, la vertiente aplicada que estuvo en la base de la creación de la Microbiología, mantuvo su

vigencia, enriquecida por continuos aportes de la investigación básica, y hoy muestra una impresionante "hoja de servicios" y una no menos prometedora perspectiva de expansión a múltiples campos de la actividad humana, desde el control de enfermedades infecciosas (higiene, vacunación, quimioterapia, antibioterapia) hasta el aprovechamiento económico racional de los múltiples procesos en los que se hallan implicados los microorganismos (biotecnologías).

Así pues, la sencilla definición con la que se abrió este apartado, escondía todo un cúmulo de contenidos y objetos de indagación, todos emanados de una peculiar manera de aproximarse a la porción de realidad que la Microbiología tiene encomendada. En las próximas páginas ampliaremos y concretaremos el concepto al que hemos hecho rápida referencia. Realizaremos un recorrido por su desarrollo de la Microbiología a lo largo de su historia, que nos permitirá una visión concreta de algunos de sus característicos modos de abordar su objeto de estudio; finalmente, estaremos en disposición de definir este último, desglosado como objeto material y formal.

BREVE HISTORIA DE LA MICROBIOLOGÍA.

LAS PRIMERAS OBSERVACIONES

- Robert Hooke observó que el tejido vegetal estaba formado por celdillas e introdujo el término de célula (1665).
- Las observaciones de Hooke fueron las bases del desarrollo de la **teoría celular**, concluyendo que cada célula es una unidad constitucional y funcional de los seres vivos, capaz de mantener su propia existencia independientemente.
- Anton van Leeuwenhoek, utilizando un microscopio simple, fue el primero en observar los microorganismos (1673).

EL DEBATE SOBRE LA GENERACIÓN ESPONTÁNEA

- Hasta la segunda mitad del siglo XIX muchos científicos y filósofos creían que algunas formas de vida podían aparecer espontáneamente a partir de la materia inerte y este proceso se conocía como **generación espontánea**.
- Redi demostró que en la carne en putrefacción aparecen gusanos sólo cuando las moscas pueden depositar sus huevos sobre ella (1668).
- John Needham afirmó que los microorganismos pueden aparecer de forma espontánea a partir de un caldo nutritivo hervido (1745).
- Lazzaro Spallanzani repitió los experimentos de Needham y sugirió que los resultados de éste eran debidos a la entrada de los microorganismos del aire en la vasija (1765).
- Rudolf Virchow introdujo el concepto de biogénesis: las células vivas proceden sólo de otras células preexistentes (1858).
- Louis Pasteur demostró que en cualquier parte se encuentran microorganismos en el aire y proporcionó pruebas de la biogénesis (1861).
- Los descubrimientos de Pasteur condujeron al desarrollo de técnicas que se utilizan en el laboratorio y

en los protocolos médicos para prevenir la contaminación por los microorganismos que hay en el aire.

LA EDAD DE ORO DE LA MICROBIOLOGÍA

- Entre 1857 y 1914 se realizaron rápidos avances en la ciencia de la microbiología.
- Pasteur observó que las levaduras fermentan los azúcares a alcohol y que las bacterias pueden oxidar el alcohol a ácido acético.
- Para matar las bacterias de algunas bebidas alcohólicas y de la leche se utiliza un proceso de calentamiento llamado pasteurización.

La teoría infecciosa de la enfermedad

- Agostino Bassi (1834) y Pasteur (1865) demostraron la relación causal entre microorganismo y enfermedad.
- Joseph Lister introdujo el uso de un desinfectante para el lavado de apósitos quirúrgicos con el fin de controlar las infecciones en el hombre (1860)
- Robert Koch demostró que los microorganismos producen enfermedades. Para ello utilizó una secuencia de experimentos conocida como Postulados de Koch (1876), que sigue utilizándose para demostrar que un microorganismo en particular produce una enfermedad concreta.

1 El microorganismo debe de estar presente en todos los individuos enfermos.

- El microorganismo debe poder aislarse del hospedador y ser crecido en cultivo puro.
- La inoculación del microorganismo crecido en cultivo puro a animales sanos debe provocar la aparición de síntomas específicos de la enfermedad en cuestión.
- El microorganismo debe poder ser reaislado del hospedador infectado de forma experimental.

Vacunación

- La vacunación confiere inmunidad (resistencia a una enfermedad en particular) mediante la administración de una vacuna.
- En 1798 Edward Jenner demostró que inoculando con material procedente de la viruela de las vacas se proporciona inmunidad al hombre frente a la viruela.
- Hacia 1880 Pasteur descubrió que podía utilizarse una bacteria avirulenta como vacuna para la peste aviar: él acuñó el término de vacuna.
- Las vacunas modernas se preparan a partir de microorganismos vivos avirulentos, de patógenos muertos, de componentes aislados de microorganismos patógenos o mediante técnicas de DNA recombinante.

NACIMIENTO DE LA QUIMIOTERAPIA MODERNA

- La quimioterapia es el tratamiento de una enfermedad con compuestos químicos.
- Los agentes quimioterápicos pueden ser de síntesis (compuestos químicos obtenidos en el laboratorio) o antibióticos (sustancias naturales producidas por bacterias y hongos que inhiben el crecimiento de otros microorganismos).
- Paul Ehrlich introdujo el uso de un compuesto arsenical llamado salvarsan para tratamiento de la sífilis (1910).
- Alexander Fleming observó que el moho (hongo) *Penicillium* inhibía el crecimiento de un cultivo bacteriano y llamó al componente activo penicilina (1928).
- La penicilina se ha utilizado clínicamente como antibiótico desde los años 40.
- Los investigadores están haciendo frente al problema de la resistencia microbiana a antibióticos.

DESARROLLO ACTUAL DE LA MICROBIOLOGÍA

- Entre las líneas de investigación en inmunología se encuentran el estudio del SIDA, el análisis de los efectos del interferón y el desarrollo de nuevas vacunas.
- Las nuevas técnicas de biología molecular y microscopía electrónica han proporcionado herramientas para el progreso en el estudio de la virología.
- El desarrollo de la tecnología del DNA recombinante ha contribuido al avance de todas las áreas de la microbiología.

NOMENCLATURA Y CLASIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS.

- Según el sistema de nomenclatura diseñado por Carolus Linnaeus (1735) cada organismo vivo es designado por dos nombres.
- Estos dos nombres consisten en un género y un epíteto específico, que deben escribirse subrayados o en cursiva.
- Todos los organismos pueden clasificarse en cinco reinos: Procaryotae (o Monera), Protista, Fungi, Plantae y Animalia.

LA DIVERSIDAD DE LOS MICROORGANISMOS.

BACTERIAS

- Las bacterias son organismos unicelulares. Sus células carecen de núcleo, por lo que se denominan procariontes.
 - Las tres morfologías principales de las bacterias son bacilos, cocos y espirilos.
 - Las bacterias tienen una pared celular con péptido glucano, se dividen por fisión binaria y pueden presentar flagelos.
 - Las bacterias pueden utilizar una amplia gama de sustancias para su nutrición.
-

HONGOS

- Los hongos (setas, mohos y levaduras) tienen células eucariontes (con núcleo verdadero). La mayoría de ellos son pluricelulares.
 - Los hongos obtienen nutrientes absorbiendo compuestos orgánicos del medio ambiente.
-

PROTOZOOS

- Los protozoos son eucariontes unicelulares y se clasifican atendiendo a sus medios de locomoción.
 - Los protozoos absorben nutrientes o los ingieren a través de estructuras especializadas.
-

ALGAS

- Son eucariontes unicelulares o pluricelulares que se nutren mediante la fotosíntesis.
 - Las algas producen oxígeno e hidratos de carbono que son utilizados por otros organismos.
-

VIRUS

- Los virus son entes acelulares que parasitan células.
 - Los virus están formados por un ácido nucleico (DNA o RNA) rodeado de una cubierta proteína. Esta cubierta puede estar a su vez rodeada por una envoltura.
-

PARASITOS ANIMALES PLURICELULARES

- Los grupos principales de parásitos pluricelulares son los gusanos planos y los gusanos redondos, llamados en conjunto helmintos.
-

LOS MICROORGANISMOS Y EL BIENESTAR HUMANO

- Los microorganismos degradan los animales y plantas muertas, reciclando elementos químicos para que puedan ser utilizados por plantas y animales vivos.
 - Para descomponer la materia orgánica de las aguas residuales se utilizan bacterias.
 - Las bacterias causantes de enfermedades en los insectos están siendo utilizadas para el control biológico de algunas plagas; son específicas del insecto causante de la plaga y no alteran el medio ambiente.
 - Pueden emplearse microorganismos en la manufactura de alimentos y ellos mismos pueden ser fuente de alimentos (proteína unicelular).
 - Gracias a las técnicas de DNA recombinante las bacterias pueden producir proteínas humanas importantes como insulina e interferones.
-

LOS MICROORGANISMOS Y LAS ENFERMEDADES HUMANAS

- Todos poseemos una microflora normal en nuestro cuerpo.
 - La capacidad de producir enfermedad de una especie microbiana y la resistencia del huésped son factores importantes que determinan si un individuo va a sufrir una enfermedad.
-

AUGE DE LA MICROBIOLOGÍA GENERAL.

Gran parte de los avances en Microbiología descritos hasta ahora se debieron a la necesidad de resolver problemas prácticos. Pero hacia finales del siglo XIX una serie de investigadores –algunos de ellos procedentes de áreas más clásicas de la Historia Natural– desarrollaron importantes estudios básicos que fueron revelando una enorme variedad de microorganismos y sus actividades metabólicas, así como su papel crucial en ciclos biogeoquímicos, sus relaciones con procesos de nutrición vegetal, etc.

- El descubrimiento de la quimioautotrofia, obra del gran microbiólogo ruso Sergei Winogradsky (1856–1953), obligó a revisar los conceptos previos, procedentes de la Fisiología Vegetal, de que el crecimiento autotrófico dependía de la presencia de clorofila.
- Winogradsky había comenzado investigando las bacterias del hierro descubiertas por Cohn en 1875, observando que podían crecer en medios minerales, por lo que supuso que obtenían su energía de la oxidación de sales ferrosas a férricas (1888). En 1889, combinando técnicas de observación secuencial de cultivos microscópicos con ensayos microquímicos sobre bacterias del azufre (*Beggiatoa*, *Thiothrix*), infirió que estos microorganismos oxidaban sulfuro de hidrógeno hasta azufre elemental (acumulando éste como gránulos), y luego hasta ácido sulfúrico, obteniendo de este modo su energía. Estas observaciones pueden haber sido el arranque del concepto de litotrofia.
- El descubrimiento de la quimioautotrofia llegó cuando al año siguiente Winogradsky y Omeliansky pasaron a estudiar las bacterias nitrificantes, demostrando de manera clara que la energía obtenida de la oxidación del amonio o del nitrito era usada para fijar CO₂ (1889–1890).

- Más tarde el mismo Winogradsky extendió la demostración a cultivos puros en los que el agente solidificante de los medios era el gel de sílice. La explicación del proceso de oxidación de los compuestos de azufre no llegó hasta los estudios de Dangeard (1911) y Kiel (1912). Nuevas capacidades metabólicas fueron reveladas al estudiar los procesos respiratorios de las bacterias que oxidan hidrógeno o metano (Söhngen, 1906).
- El químico Berthelot había señalado (1885) que los microorganismos del suelo podían incorporar nitrógeno molecular directamente del aire.
- Fue igualmente Winogradsky el primero en aislar una bacteria capaz de fijar nitrógeno atmosférico (*Clostridium pasteurianum*) y en explicar el ciclo del nitrógeno en la naturaleza (1890), siendo el holandés Martinus Beijerinck (1851–1931) el descubridor de *Azotobacter* como bacteria aerobia fijadora de vida libre (1901).
- Más tarde Beijerinck demostró por métodos químicos que, en efecto, *Azotobacter* incorpora nitrógeno de la atmósfera mientras crece (1908).
- La importancia de la fijación de nitrógeno para la nutrición vegetal llegó con los estudios sobre bacterias formadoras de nódulos en las raíces de las leguminosas. Ya los experimentos cuantitativos sobre plantas creciendo en recipientes, realizados por Boussingault a mediados del siglo XIX, habían indicado que las leguminosas asimilaban nitrógeno de la atmósfera.
- En 1866 Voronin descubrió las bacterias de los nódulos radicales de esta familia de plantas.
- Frank, en 1879, demostró que los nódulos parecían inducirse por las mismas bacterias albergadas en ellos, y Ward (1887) usó bacterias procedentes de nódulos machacados para inocular semillas, logrando la producción de nódulos en suelo estéril, y describiendo en un bello trabajo el proceso de infección, con su producción de "hifas" (cordón de infección).
- Tras la introducción del concepto de simbiosis por De Bary, en 1878, fue Schindler (1884) el primero en describir los nódulos radicales como resultado de una simbiosis entre planta y bacterias.
- Los trabajos de Hermann Hellriegel (1831–1895) y de su colaborador Hermann Willfahrt (1853–1904), asociaron la fertilidad nitrogenada natural de las leguminosas con la presencia de sus nódulos radicales, señalando que estos nódulos se inducían por microorganismos específicos; de este modo lograron una brillante síntesis de las observaciones microbiológicas y químicas.
- El mismo año de 1888 Beijerinck logró el cultivo puro in vitro de las bacterias nodulares (a las que bautizó como *Bacillus radicola*), observando que no reducían nitrógeno en vida libre; más tarde (1890) aportó la prueba definitiva de que las bacterias aisladas eran capaces de nodular específicamente ciertas especies de leguminosas, adquiriéndose de esta forma la facultad de fijar nitrógeno en su asociación con la raíz de la planta.
- El aislamiento de los bacteroides intranodulares (Prazmowski, 1890), y la relación entre su formación y la fijación de nitrógeno (Nobbe y Hiltner, 1893) completó esta primera oleada de investigación sobre este tema que tanta trascendencia presentaba para la Agronomía. Estos estudios están en la base de todos los ulteriores trabajos de Microbiología Agrícola, de modo que esta especialidad fue incorporada tempranamente a los laboratorios científicos y estaciones experimentales.
- Las obras trascendentales de Winogradsky y Beijerinck abrieron un nuevo horizonte para el estudio de la diversidad microbiana.

- Estos autores, y sus colaboradores, fueron realizando contribuciones esenciales sobre una amplia diversidad de bacterias, descubriendo la variedad de las bacterias fotosintéticas, los tipos de organismos litotróficos, y profundizando en multitud de aspectos estructurales y fisiológicos de las bacterias recién descubiertas.
- T.D. Brock señaló en una conferencia en 1961 que "los hombres de la escuela de Delft de Microbiología General fueron pioneros en una época en la que la mayoría de los investigadores estaban demasiado fascinados por problemas aplicados en medicina, agricultura o industria, como para preocuparse por microorganismos quimiosintéticos o fotosintéticos, o por aquellos que muestran fermentaciones inusuales...". Pero, como en tantas otras ocasiones, este enfoque de ciencia básica ha sido extraordinariamente fértil, y aparte de la profundización en la unidad y diversidad de la vida ha dado origen a penetrantes percepciones en multitud de problemas planteados, tarde o temprano, a las ciencias biológicas.

OBJETO DE ESTUDIO DE LA MICROBIOLOGÍA

El objeto de estudio de una ciencia se puede desglosar en dos apartados: objeto material y objeto formal.

OBJETO MATERIAL: LOS MICROORGANISMOS

- La Microbiología es la ciencia que se ocupa del estudio de los microorganismos, es decir, de aquellos organismos demasiado pequeños para poder ser observados a simple vista, y cuya visualización requiere el empleo del microscopio.
- Esta definición implica que el objeto material de la Microbiología viene delimitado por el tamaño de los seres que investiga, lo que supone que abarca una enorme heterogeneidad de tipos estructurales, funcionales y taxonómicos: desde partículas no celulares como los virus, viroides y priones, hasta organismos celulares tan diferentes como las bacterias, los protozoos y parte de las algas y de los hongos.
- De esta manera la Microbiología se distingue de otras disciplinas organísmicas (como la Zoología y la Botánica) que se centran en grupos de seres vivos definidos por conceptos biológicos homogéneos, ya que su objeto de indagación se asienta sobre un criterio artificial que obliga a incluir entidades sin más relación en común que su pequeño tamaño, y a excluir a diversos organismos macroscópicos muy emparentados con otros microscópicos.

A pesar de esto (o incluso debido a ello), la Microbiología permanece como una disciplina perfectamente asentada y diferenciada, que deriva su coherencia interna del tipo de metodologías ajustadas al estudio de los organismos cuyo tamaño se sitúa por debajo del límite de resolución del ojo humano, aportando un conjunto específico de conceptos que han enriquecido la moderna Biología.

Podemos definir, pues, a los microorganismos como seres de tamaño microscópico dotados de individualidad, con una organización biológica sencilla, bien sea acelular o celular, y en este último caso pudiendo presentarse como unicelulares, cenocíticos, coloniales o pluricelulares, pero sin diferenciación en tejidos u órganos, y que necesitan para su estudio una metodología propia y adecuada a sus pequeñas dimensiones. Bajo esta denominación se engloban tanto microorganismos celulares como las entidades subcelulares.

MICROORGANISMOS CELULARES

Comprenden todos los procariotas y los microorganismos eucarióticos (los protozoos, los mohos mucosos, los hongos y las algas microscópicas).

VIRUS Y PARTICULAS SUBVIRASICAS

Otro tipo de objetos de estudio de la microbiología son las entidades no celulares, que a pesar de no poseer ciertos rasgos atribuibles a lo que se entiende por vida, cuentan con individualidad y entidad biológica, y caen de lleno en el dominio de esta ciencia.

- Los viroides son un grupo de nuevas entidades infectivas, subvirásicas, descubiertas en 1967 por T.O. Diener en plantas. Están constituidos exclusivamente por una pequeña molécula circular de ARN de una sola hebra.
 - Los priones son entidades infectivas de un tipo totalmente nuevo y original, descubiertas por Stanley Prusiner en 1981, responsables de ciertas enfermedades degenerativas del sistema nervioso central de mamíferos (por ejemplo, el "scrapie" o prurito de ovejas y cabras, la encefalitis espongiforme bovina), incluyendo los humanos (kuru, síndrome de Gerstmann–Straüssler, enfermedad de Creutzfeldt–Jakob).
 - Se definen como pequeñas partículas proteicas infectivas que resisten la inactivación por agentes que modifican ácidos nucleicos, y que contienen como componente mayoritario una proteína celular anómala. Son glicoproteínas codificadas por el mismo gen cromosómico, teniendo la misma secuencia primaria.
-

OBJETO FORMAL

- Todos los aspectos y enfoques desde los que se pueden estudiar los microorganismos conforman lo que denominamos objeto formal de la Microbiología:

características estructurales,

fisiológicas,

bioquímicas,

genéticas,

taxonómicas,

ecológicas, etc.,

que conforman el núcleo general o cuerpo básico de conocimientos de esta ciencia.

Por otro lado, la Microbiología también se ocupa de las distintas actividades microbianas en relación con los intereses humanos, tanto las que pueden acarrear consecuencias perjudiciales (y en este caso estudia los nichos ecológicos de los correspondientes agentes, sus modos de transmisión, los diversos aspectos de la

microbiota patógena en sus interacciones con el hospedador, los mecanismos de defensa de éste, así como los métodos desarrollados para combatirlos y controlarlos), como de las que reportan beneficios (ocupándose del estudio de los procesos microbianos que suponen la obtención de materias primas o elaboradas, y de su modificación y mejora racional con vistas a su imbricación en los flujos productivos de las sociedades).

Finalmente, la Microbiología ha de ocuparse de todas las técnicas y metodologías destinadas al estudio experimental, manejo y control de los microorganismos, es decir, de todos los aspectos relacionados con el modo de trabajo de una ciencia empírica.