

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

*Tratamiento de aguas residuales:*

**Microorganismos, enfermedades y  
agua: de una historia de terror a una  
solución perfecta**

*Hermana: ¿qué pasa con todas esas cosas malolientes que  
tiramos por el inodoro?*



Foto de Marcin Jozwiak de Pexels

**Erick Vandamme y Willy Verstraete**

Departamento de Biotecnología, Universidad de Gante, Bélgica.

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

### *Antes del tratamiento de aguas residuales*

Viviendo en la inmundicia. En la antigüedad, la gente cazaba y consumía vida silvestre y, más tarde, vivía muy de cerca junto a sus animales de granja en condiciones insalubres. Sus desechos se amontonaban en sus casas y patios, y luego en las calles y vías fluviales. Consumían alimentos y agua que inevitablemente estaban contaminados. Las enfermedades podían propagarse de forma dramática porque la higiene personal, privada, doméstica, pública y urbana no existía hasta hace aproximadamente un siglo. Los antisépticos y desinfectantes no se conocían en absoluto.

El mal aire como indicador de un ambiente insalubre. Desde finales del siglo XIII, muchos archivos de autoridades y gobiernos locales en ciudades de Italia, España, Inglaterra y en los "Low Countries" (ahora Bélgica y los Países Bajos) atestiguan que la mayoría de las ciudades medievales europeas eran lugares sucios, rebosantes de enfermedades (peste negra o peste, lepra, etc.) y que producían un hedor de "aire malo".

Las condiciones higiénicas en ciudades como Gante (en ese momento una importante ciudad europea con > 60.000 habitantes) e Ypres (ambas ahora en Bélgica), y también Leiden y Deventer (ahora en los Países Bajos), están particularmente bien documentadas. En estas ciudades, la situación higiénica se deterioró hasta el punto de que las autoridades locales decidieron tomar medidas para proteger la salud de sus ciudadanos. Sus políticas se basaban en el "mal aire" o "teoría del miasma" de Galeno. La teoría del miasma (del antiguo término griego para "contaminación") sostenía que las enfermedades infecciosas eran causadas por "partículas/semillas venenosas presentes en el aire contaminado o en los alimentos" o en el vapor que emanaba de la materia orgánica en descomposición, conocida como putrefacción, o por malas condiciones higiénicas.

Primeros pasos. Poco a poco las autoridades de la ciudad tomaron medidas para prevenir el "mal aire", incluyendo eliminar la suciedad de las calles, recoger basura, mejorar las carreteras, usar agua (de ríos) para enjuagar las calles, diseñar canalones simples y sistemas primitivos de drenaje y alcantarillado, letrinas y pozos negros. También los perros callejeros y, entonces comunes, los cerdos que deambulaban por las calles, el comportamiento inmoral, el juego y el abuso del alcohol, se consideraban causas de enfermedades. Se creía que ejercitar la salud mental y las creencias cristianas, contribuían a una buena salud física y al bienestar.

En los siglos XIV y XV también se introdujo la inspección de mercado de la calidad de la carne, el pescado y los cereales. Además, se examinaron los fraudes en las transacciones comerciales. Todas estas acciones no médicas dieron como resultado una reducción y prevención parcial de riesgos para la salud, ¡y en realidad la mayoría no fueron reacciones *ad hoc* a las epidemias!

Lavado de manos. Hasta entonces no se realizaba el lavado de manos como medida de higiene, ya que se suponía que el agua penetraba en la piel y provocaba un aumento de las enfermedades. Durante las epidemias de peste en los siglos XV y XVI, y hasta el siglo XVIII, el uso del agua y el baño estaban prohibidos o desalentados, ya que se creía que el agua abría la piel y el cuerpo para que entrara el "aire malo". Los ricos cambiaban de ropa en lugar de lavarse, y usaban perfumes para mejorar el olor corporal, solo limpiándose las manos y la cara ocasionalmente.

Por supuesto, la visión del agua como un peligro inminente no era compartida por todas las culturas: los antiguos egipcios, japoneses, griegos, romanos y otros otorgaban un gran valor al baño y al lavado de los cuerpos, por ejemplo, como lo demuestran los impresionantes acueductos romanos aún existentes. Pero en Europa, a principios de la Edad Moderna, el miedo al agua cambiaría solo gradualmente en los siglos XVII y XVIII, cuando el agua finalmente se percibió como beneficiosa para la piel. Esto condujo finalmente a la instalación de sistemas primitivos de abastecimiento de agua colectivo, como bombas de agua, canales y acueductos en las principales ciudades.

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

Los microbios desplazan al misma. Solo entre 1860 y 1880, Louis Pasteur (1822-1895) y Robert Koch (1843-1910) demostraron que pequeños organismos no visibles eran la causa de enfermedades infecciosas. Es sorprendente reflexionar sobre el hecho de que en 1850 había máquinas de vapor y líneas de tren entre ciudades, pero una total falta de conciencia del "poder de esas criaturas súper pequeñas".

La búsqueda de desinfectantes. Luego, en Glasgow, el cirujano Lister decidió utilizar los hallazgos de Pasteur para tratar heridas y experimentó en 1865 con una gama de productos que se usaban entonces, como el vino, el vinagre diluido, la quinina, la trementina y el ácido nítrico diluido, para investigar su capacidad para matar microorganismos. El éxito fue variable, ya que ninguno pudo contrarrestar la formación de pus y la inflamación, debido a su aplicación tras la inflamación, cuando la descomposición del tejido ya había comenzado. No eran útiles para tratar las infecciones, pero luego centró su atención en la *prevención* de infecciones. Buscó nuevos compuestos, como el permanganato de sodio y el ácido carbólico (fenol), y los probó de forma preventiva y directa en la piel o el tejido humano.

Lister también había recordado que, en una planta de tratamiento de aguas residuales en Carlisle, se usaba ácido carbólico para reducir el hedor del aire de la basura en descomposición y el de los campos que se regaban con aguas residuales. Esta sugerencia fue hecha a los ingenieros de la planta de aguas residuales por el profesor Frederick Crace Calvert (1819-1873), químico del Real Instituto de Manchester. Se descubrió que el ácido carbólico también mataba los parásitos protozoarios del ganado que pastaba en los campos y pastos. Tras el trabajo de Joseph Lister (1827-1912), el uso de desinfectantes como antisépticos y germicidas se hizo común a fines de la década de 1870.

Los postulados de Koch y la identificación de los microbios causantes de enfermedades. También el médico y microbiólogo alemán Robert Koch (1843-1910) reforzó significativamente el vínculo entre los microbios patógenos y las enfermedades infecciosas con sus "postulados", proporcionando en 1876 una prueba lógica de la teoría de los gérmenes como causa de enfermedad y en la identificación de los agentes bacterianos causantes del ántrax, es decir, el *Bacillus anthracis* (en 1877), la tuberculosis (en 1882) y el cólera (en 1884). Pero no debemos olvidar mencionar que se encontró con la fuerte oposición de un químico e higienista bávaro, Max Joseph von Pettenkofer (1818-1901), director del Instituto de Higiene de Múnich, Alemania. A pesar de ser correctamente un defensor de la buena higiene, el suministro de agua limpia en las ciudades, el aire fresco y la eliminación adecuada de las aguas residuales, Pettenkofer no creía en el novedoso concepto de que las bacterias eran la causa principal de las enfermedades y el hedor, por lo que entró en conflicto personal con el famoso Koch.

### ***Ingresar al tratamiento de aguas residuales***

Siglo XIX: todavía vive en la inmundicia y con hedor. Y eso nos lleva al tratamiento de aguas residuales. Estamos a principios del siglo XIX, pero la humanidad sigue viviendo en medio de su inmundicia, como en todos los siglos anteriores. Como se indicó anteriormente, la materia fecal y otros desechos orgánicos eran comúnmente arrojados a las calles por todos los ciudadanos. En la ciudad de Gante, una orden de monjes tenía el privilegio de criar cerdos en la ciudad, aprovechando la inmundicia que estos encontraban al deambular por las calles. Claramente, había mucha suciedad por todas partes.

Además, las heces y la basura no son "inactivas" como la arena, sino que son ricas en componentes nutritivos. Por lo tanto, contienen una variedad de microorganismos de crecimiento rápido, particularmente en el verano. Durante su crecimiento en desechos húmedos con déficit de oxígeno disuelto, estas criaturas producen varios compuestos apestosos y ofensivos. Los compuestos típicos son amoníaco, aminas (cadaverina), compuestos de azufre (sulfuro de hidrógeno producido en los huevos podridos).

Además, estos microorganismos se multiplican muy rápidamente (¡en cuestión de horas!,

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

compárese incluso con el mamífero, que se reproduce más rápidamente) y alcanzan después de horas y días de crecimiento cifras del orden de millones por gota. Y, sobre todo, varios se vuelven "tan vigorosos y emocionados" listos para atacar y usar, para su propio propósito de crecimiento, lo que puedan obtener. Por lo tanto, unas gotas de contacto con el agua sucia y los desechos del ambiente, equivalían a un desafío directo del ciudadano por millones de microorganismos altamente "infecciosos" capaces de amenazar la vida cuando crezcan en el cuerpo humano.

El descubrimiento de lodos activados. En este contexto, es más que sorprendente que la humanidad tomara medidas efectivas para eliminar y tratar las aguas residuales de las ciudades sólo alrededor de principios de 1900. En primer lugar, se intentó aplacar el mal olor de las aguas usadas recogidas soplando aire a través de ellas. Posteriormente, el agua tratada se vertía en un río local. Sin embargo, en 1914, Ardern y Lockett observaron en Manchester, Reino Unido, que cuando habían aireado las aguas residuales, se asentaban y se separaban en una capa superior clara (efluente) y una capa inferior de lodo. Cuando descargaron solo la capa de agua superior y usaron el lodo para tratar el siguiente lote de agua, esto funcionó aún más rápido y mejor para eliminar el hedor y clarificar la capa de agua superior. Y así nació el término: "lodo activado".

Para sorpresa de todos, este material de sedimentación no era limo o arena inerte, sino que estaba vivo y coleando con microorganismos. Estos eran microorganismos buenos y beneficiosos descubiertos. Desde entonces, este procedimiento de proporcionar el suministro correcto de oxígeno a las aguas residuales y, por lo tanto, crear las condiciones para el crecimiento rápido y masivo de microbios que utilizan los materiales orgánicos de las aguas residuales como alimento, se practica ahora en todo el mundo.

El tratamiento de aguas residuales elimina eficazmente los patógenos y reduce enormemente las infecciones. Y no solo los materiales orgánicos de las heces y otros desechos se descomponen en minerales, sino que el entorno altamente competitivo de los lodos activados también elimina los patógenos que son superados en competencia y llevados a la inanición y la extinción. Por lo tanto, el tratamiento de aguas residuales elimina la mayor parte de las cantidades masivas de microbios patógenos liberados en las aguas residuales que anteriormente eran la principal fuente de infección en los seres humanos. De hecho, el agua que sale de una planta de tratamiento en buen funcionamiento puede ser recuperada para regar cultivos e incluso, como se hace desde hace ya más de 2 décadas en Oostduinkerke (Bélgica), para directamente producir agua potable.

Para prevenir miles de millones de infecciones, el tratamiento de aguas residuales se ha convertido en un componente fundamental de las medidas de salud e higiene pública. ¡¿No es más que irónico que todos esos relatos horribles en la historia de las enfermedades debidas a microorganismos dañinos ahora hayan quedado completamente atrás nuestro debido a una buena comprensión y el uso óptimo de microorganismos buenos mediante la bioingeniería?!; Y qué gran paso adelante en salud y urbanización han logrado los humildes ingenieros de aguas residuales! Para poner esto en perspectiva: antes de que se implementara la recolección y el tratamiento de aguas residuales, el promedio de vida del ciudadano europeo era aparentemente de unos 30 años, después de que se implementara un buen saneamiento, ¡¡ese único factor duplicó la esperanza de vida!! Desde ese gran avance a través del saneamiento, el desarrollo de vacunas, antibióticos y la atención médica moderna han extendido aún, más la esperanza de vida, a casi 80 años. El tratamiento de aguas residuales es, por lo tanto, nuestro procedimiento de higiene y salud pública más eficaz y valioso que ha salvado millones de vidas y miles de millones de episodios de enfermedades debilitantes.

***¡El desarrollo del tratamiento de aguas residuales fue un avance basado en microbios que cambió a la humanidad!***

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

### La base empírica, lectura complementaria y medios didácticos

- Ashenburg, K. 2009. Clean: An Unsanitized History of Washing, Publisher: Profile books, UK, pp. 368.
- Ardern, M and Lockett, M. 1914. Experiments on the oxidation of sewage without the aid of filters. <https://doi.org/10.1002/jctb.5000331005>
- Boone, M. 2012. Cities in Late Medieval Europe: The Promise and The Curse of Modernity. *Urban History*, 39:329-349.
- Cavitch, S.M. 1994. *The Natural Soap Book*. Paper Back, Storey Publishing, pp. 182.
- Cieciesznsiki, N.J. 2013. The Stench of Disease: Public Health and the Environment in Late Medieval English Towns and Cities. *Health, Culture and Society*, 4(1):92-104.
- Cippola, C.M. 1992. *Miasmas and Disease: Public Health and the Environment in the Pre-Industrial Age*. Yale University Press, pp. 101. ISBN 0-300-04806-8.
- Coomans, J. 2018. In Pursuit of a Healthy City: Sanitation and the Common Good in the Late Medieval Low Countries, Unpublished Ph.D. thesis, University Amsterdam, The Netherlands, pp.229.
- Dewettinck, T., E. Van Houtte and W. Verstraete 2001. HACCP to Guarantee Safe Water Reuse and Drinking Water Production – a Case Study. *Water Science and Technology* 43: 31-38.
- Locher, W.G. 2007. Max von Pettenkofer (1818-1901) as a Pioneer of Modern Hygiene and Preventive Medicine. *Environm. Health and Preventive Medicine*, 12(6), 238-245.
- Vandamme, E.J. and K. Mortelmans. 2020. Epidemics and Pandemics, Disinfectants and Antiseptics. *SIMB News*, 70, 3, 84-98
- <https://www.iwapublishing.com/news/brief-history-water-and-health-ancient-civilizations-modern-times>
- <https://www.awt.org/resources/seed-program/water-careers/water-treatment-in-history/>